

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月28日
Date of Application:

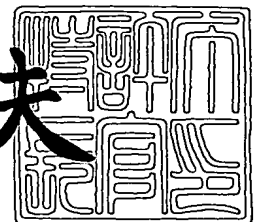
出願番号 特願2003-089777
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-089777]

出願人 本田技研工業株式会社
Applicant(s):

2003年 9月18日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3076808



【書類名】 特許願

【整理番号】 PSA66391HT

【提出日】 平成15年 3月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G05B 13/00

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 安井 裕司

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 下城 孝名子

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 島袋 栄二郎

【特許出願人】

 【識別番号】 000005326

 【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100077805

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐藤 辰彦

【選任した代理人】

 【識別番号】 100077665

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 千葉 剛宏

【先の出願に基づく優先権主張】**【出願番号】** 特願2002-378624**【出願日】** 平成14年12月26日**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 015174**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9711295**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】

アクチュエータの制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アクチュエータの作動に応じて変化する第 1 の状態値を把握する第 1 の状態値把握手段と、該アクチュエータの作動に応じて変化する該第 1 の状態値と異なる第 2 の状態値を把握する第 2 の状態値把握手段と、

前記第 1 の状態値が第 1 の目標値と一致するように、該第 1 の状態値と該第 1 の目標値との偏差の減衰挙動と減衰速度を可變的に指定可能な第 1 の応答指定型制御を用いて、少なくとも該偏差を第 1 の状態量として、該第 1 の状態量を変数とした第 1 の線形関数により規定される第 1 の切換関数上の平衡点に該第 1 の状態量を収束させるように前記アクチュエータを駆動する第 1 の操作量を決定すると共に、前記第 1 の応答指定型制御の応答特性を、前記第 2 の状態値が第 2 の目標値と一致するように決定する操作量決定手段とを備えたことを特徴とするアクチュエータの制御装置。

【請求項 2】

前記操作量決定手段は、前記第 2 の状態値と前記第 2 の目標値との偏差の減衰挙動と減衰速度を可變的に指定可能な第 2 の応答指定型制御を用いて、少なくとも該偏差を第 2 の状態量として、該第 2 の状態量を変数とした第 2 の線形関数により規定される第 2 の切換関数上の平衡点に該第 2 の状態量を収束させるように前記第 1 の応答指定型制御の応答特性を決定することを特徴とする請求項 1 記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 3】

前記操作量決定手段は、前記第 1 の線形関数の演算係数を変更することによって、前記第 1 の応答指定型制御の応答特性を決定することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 4】

前記操作量決定手段は、前記演算係数を第 2 の操作量とし、前記第 2 の切換関

数上の平衡点に前記第 2 の状態量を収束させるように該第 2 の操作量を決定することを特徴とする請求項 3 記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 5】

前記アクチュエータは移動体を移動させる駆動源であり、

前記第 1 の状態値は前記移動体の移動位置であり、

前記第 2 の状態値は前記アクチュエータの作動により前記移動体に働く力の大きさであることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちいずれか 1 項記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 6】

前記アクチュエータは、1 軸方向に移動自在に設けられた接触体と連結されて該接触体を移動させ、該接触体と、前記アクチュエータと、該接触体が所定位置に移動したときに該接触体と接触する被接触体とを備えた接触機構の作動を制御して、前記アクチュエータにより前記接触体を前記所定位置を超えて移動させて前記被接触体に押付ける工程を実行し、

該工程における前記接触体の目標位置を前記第 1 の目標値として設定する目標位置設定手段を有し、

前記第 1 の状態値把握手段として、前記接触体の実位置を前記第 1 の状態値として把握する実位置把握手段を有し、

前記第 2 の状態値把握手段として、前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を前記第 2 の状態値として把握する押付け力把握手段を有することを特徴とする請求項 5 記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 7】

前記アクチュエータは、供給される電流の大きさに応じて出力が変化する電気アクチュエータであって、前記第 1 の操作量は該電気アクチュエータへの供給電圧であり、

前記押付け力把握手段は、該電気アクチュエータへの供給電流を検出して該供給電流に基づいて前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を把握することを特徴とする請求項 6 記載のアクチュエータの制御装置。

【請求項 8】

前記接触機構は、動力の伝達／遮断を切り換える同期機構であり、

前記接触体は軸上に一体回転可能に設けられた第1の係合部材であり、前記被接触体は、前記軸に相対回転可能かつ軸動不可な第2の係合部材と該第1の係合部材との間に、該第1の係合部材と該第2の係合部材に対して回転自在且つ前記軸方向に移動自在に設けられて、前記軸が回転した状態で該第1の係合部材と第2の係合部材とに接触したときに生じる摩擦力により、該第1の係合部材と該第2の係合部材の回転数を同期させて該第1の係合部材と該第2の係合部材とを係合可能とする同期部材であることを特徴とする請求項6又は請求項7記載のアクチュエータの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、アクチュエータの作動に応じて変化する状態値が目標値と一致するように、該アクチュエータの作動を制御するアクチュエータの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

アクチュエータにより駆動される機構として、例えば、図16に示したように、自動車のエンジンに連結された入力軸100と一体に回転するカップリングスリーブ101と、駆動輪（図示しない）に連結されて入力軸100に回転自在かつ軸動不可に設けられた被同期ギヤ102との間にシンクロナイザリング103を設け、シフトホーク104を介してアクチュエータ105によりカップリングスリーブ101を移動させることによって、カップリングスリーブ101と被同期ギヤ102の連結／遮断を切り換えるようにした変速機の同期機構110が知られている。

【0003】

同期機構110において、カップリングスリーブ101は中空構造となっており、中空部の内周面にスプライン111が形成されている。そして、シンクロナイザリング103の外周面にカップリングスリーブ101のスプライン111と

係合可能なスプライン 112 が形成され、被同期ギヤ 102 のシンクロナイザリング 103 と対向する部分の外周面にもカップリングスリーブ 101 のスプライン 111 と係合可能なスプライン 113 が形成されている。

【0004】

カップリングスリーブ 101 と被同期ギヤ 102 を連結するときは、シフトホーク 104 によりカップリングスリーブ 101 が被同期ギヤ 102 の方向に移動する。そして、カップリングスリーブ 101 とシンクロナイザリング 103 とが接触してシンクロナイザリング 103 が被同期ギヤ 102 に押付けられると、シンクロナイザリング 103 と被同期ギヤ 102 間に生じる摩擦力によって被同期ギヤ 102 の回転速度が増加若しくは減少する。

【0005】

その結果、カップリングスリーブ 101 の回転数と被同期ギヤ 102 の回転数とが同期して、カップリングスリーブ 101 のスプライン 111 がシンクロナイザリング 103 のスプライン 112 と係合し、さらにカップリングスリーブ 101 が移動してカップリングスリーブ 101 のスプライン 111 が被同期ギヤ 102 のスプライン 113 と係合する。

【0006】

ここで、カップリングスリーブ 101 がシンクロナイザリング 103 を被同期ギヤ 102 に押付ける際のカップリングスリーブ 101 の移動速度が速すぎると、カップリングスリーブ 101 がシンクロナイザリング 103 と接触したときにカップリングスリーブ 101 が跳ね返されたり、カップリングスリーブ 101 が過大な力で被同期ギヤ 102 に押し込まれて、同期機構 110 が破損するおそれがある。

【0007】

そこで、従来は、カップリングスリーブ 101 を被同期ギヤ 102 の方向に移動させる際に、両者の距離が所定値以下となったときにカップリングスリーブ 101 の移動速度を低下させるようにしていた。また、アクチュエータ 105 とシフトホーク 104 の間にバネ等の機械的な緩衝機構を設けて、カップリングスリーブ 101 とシンクロナイザリング 103 の接触時の衝撃を減少させる方法も知

られている（特許文献1）。

【0008】

そして、カップリングスリーブ101がシンクロナイザリング103に接触してからカップリングスリーブ101と被同期ギヤ102の係合が完了するまでの間は、カップリングスリーブ101をシンクロナイザリング103に押付ける必要があるが、この押付け力が過大となると同期機構110の破損が生じるおそれがある。そのため、該押付け力が予め定められた目標レベルに安定して一致するように、アクチュエータ105の作動を制御する必要がある。

【0009】

【特許文献1】

特開平2002-195406号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は上記背景を鑑みてなされたものであり、アクチュエータの作動に応じて変化する状態値を所定の目標値に安定して一致させることができるアクチュエータの制御装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するためになされたものであり、アクチュエータの作動に応じて変化する第1の状態値を把握する第1の状態値把握手段と、該アクチュエータの作動に応じて変化する該第1の状態値と異なる第2の状態値を把握する第2の状態値把握手段と、前記第1の状態値が第1の目標値と一致するように、該第1の状態値と該第1の目標値との偏差の減衰挙動と減衰速度を可変的に指定可能な第1の応答指定型制御を用いて、少なくとも該偏差を第1の状態量として、該第1の状態量を変数とした第1の線形関数により規定される第1の切換関数上の平衡点に該第1の状態量を収束させるように前記アクチュエータを駆動する第1の操作量を決定すると共に、前記第1の応答指定型制御の応答特性を、前記第2の状態値が第2の目標値と一致するように決定する操作量決定手段とを備えたことを特徴とする。

【0012】

かかる本発明によれば、例えば、前記アクチュエータに外乱が加わったときに、前記第1の状態値に基づく前記第1の応答指定型制御では該外乱の影響を排除することが困難であるときには、前記第2の状態値を前記第2の目標値と一致するように前記第1の応答指定型制御の応答特性を決定することによって、前記外乱による影響を排除することができる。

【0013】

また、前記操作量決定手段は、前記第2の状態値と前記第2の目標値との偏差の減衰挙動と減衰速度を可變的に指定可能な第2の応答指定型制御を用いて、少なくとも該偏差を第2の状態量として、該第2の状態量を変数とした第2の線形関数により規定される第2の切換関数上の平衡点に該第2の状態量を収束させるように前記第1の応答指定型制御の応答特性を決定することを特徴とする。

【0014】

かかる本発明によれば、前記第1の応答指定型制御の応答特性を、前記第2の応答指定型制御により決定することによって、前記第1の応答指定型制御の応答特性を発散することなく短時間で目標とする応答特性に収束させることができるため、前記アクチュエータの作動をさらに安定化させることができる。

【0015】

また、前記操作量決定手段は、前記第1の線形関数の演算係数を変更することによって、前記第1の応答指定型制御の応答特性を決定することを特徴とする。

【0016】

かかる本発明によれば、詳細は後述するが、前記第1の線形関数の演算係数を変更すると外乱に対する抑制能力が変化する。そのため、前記操作量決定手段は、該演算係数を変更することにより、前記第1の応答指定型制御の応答特性を容易に変更することができる。

【0017】

また、前記操作量決定手段は、前記演算係数を第2の操作量とし、前記第2の切換関数上の平衡点に前記第2の状態量を収束させるように該第2の操作量を決定することを特徴とする。

【0018】

かかる本発明によれば、前記操作量決定手段は、前記演算係数を発散することなく短時間で目標値に収束させて、前記第1の応答指定型制御の応答特性を決定することができるため、前記アクチュエータの作動を安定して制御することができる。

【0019】

また、前記アクチュエータは移動体を移動させる駆動源であり、前記第1の状態値は前記移動体の移動位置であり、前記第2の状態値は前記アクチュエータの作動により前記移動体に働く力の大きさであることを特徴とする。

【0020】

かかる本発明によれば、前記移動体の位置を制御する前記第1の応答指定型制御の応答特性の設定により、前記移動体に働く力の大きさを制御することができる。そして、このように、1つの制御系である前記第1の応答指定型制御によって、前記移動体の移動位置と前記移動体に働く力の大きさという2つの状態値を制御することにより、該2つの状態値を別個の制御系を切り換えて行う場合に比べて、該2つの状態値間の制御の切換を滑らかに行うことができる。

【0021】

また、前記アクチュエータは、1軸方向に移動自在に設けられた接触体と連結されて該接触体を移動させ、該接触体と、前記アクチュエータと、該接触体が所定位置に移動したときに該接触体と接触する被接触体とを備えた接触機構の作動を制御して、前記アクチュエータにより前記接触体を前記所定位置を超えて移動させて前記被接触体に押付ける工程を実行し、該工程における前記接触体の目標位置を前記第1の目標値として設定する目標位置設定手段を有し、前記第1の状態値把握手段として、前記接触体の実位置を前記第1の状態値として把握する実位置把握手段を有し、前記第2の状態値把握手段として、前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を前記第2の状態値として把握する押付け力把握手段を有することを特徴とする。

【0022】

かかる本発明によれば、前記操作量決定手段は、前記第1の応答指定型制御に

より前記接触体の実位置を前記目標位置に収束させると共に、前記押付け力把握手段により把握される押付け力が目標押付け力と一致するように前記第1の応答指定型制御の応答特性を決定する。そして、これにより、前記接触体が移動する経過位置を前記目標位置に収束させつつ、前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を前記目標押付け力に維持することができる。そのため、前記接触体による前記被接触体に対する押付け力が過大となることを防止して、安定して前記接触体を前記被接触体に押付けることができる。

【0023】

また、前記アクチュエータは、供給される電流の大きさに応じて出力が変化する電気アクチュエータであって、前記第1の操作量は該電気アクチュエータへの供給電圧であり、前記押付け力把握手段は、該電気アクチュエータへの供給電流を検出して該供給電流に基づいて前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を把握することを特徴とする。

【0024】

かかる本発明によれば、前記押付け力把握手段は、前記アクチュエータへの供給電流の検出値に基づいて前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を容易に把握することができる。そして、前記操作量決定手段は、前記第1の操作量として前記アクチュエータへの供給電圧を調節することにより、前記接触体による前記被接触体に対する押付け力を容易に調節することができる。

【0025】

また、前記接触機構は、動力の伝達／遮断を切り換える同期機構であり、前記接触体は軸上に一体回転可能に設けられた第1の係合部材であり、前記被接触体は、前記軸に相対回転可能かつ軸動不可な第2の係合部材と該第1の係合部材との間に、該第1の係合部材と該第2の係合部材に対して回転自在且つ前記軸方向に移動自在に設けられて、前記軸が回転した状態で該第1の係合部材と第2の係合部材とに接触したときに生じる摩擦力により、該第1の係合部材と該第2の係合部材の回転数を同期させて該第1の係合部材と該第2の係合部材とを係合可能とする同期部材であることを特徴とする。

【0026】

かかる本発明によれば、前記アクチュエータにより前記第1の係合部材を前記同期部材に押付けて前記第2の係合部材と係合させる際に、前記操作量決定手段は、前記第1の係合部材の実位置が前記目標位置と一致するように前記第1の操作量を決定すると共に、前記第1の係合部材による前記同期部材に対する押付け力が前記目標押付け力に一致するように、前記演算係数を設定する。そして、これにより、前記第1の係合部材による前記同期部材に対する押付け力が過大となって、前記同期機構の破損が生じることを防止して、前記第1の係合部材と前記第2の係合部材とを安定して係合させることができる。

【0027】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態について、図1～図15を参照して説明する。図1は同期機構及びその制御装置の構成図、図2は図1に示した同期機構のモデル化の説明図、図3は図1に示した制御装置の制御ブロック図、図4は図3に示したスライディングモードコントローラの作用を示したグラフ、図5はコンプライアンスパラメータの変更による効果を示したグラフ、図6は到達則ゲインと適応則ゲインの設定条件を示したグラフ、図7は電流フィードバック処理を加えた制御装置の制御ブロック図、図8は制御工程の切換タイミングを示したグラフ、図9はウェーブレット変換フィルタの構成図、図10はウェーブレット変換フィルタにおけるデシメーション処理の説明図、図11は制御装置の作動フローチャート、図12は目標位置とコンプライアンスパラメータの設定テーブルを示した図、図13は電流フィードバック処理を加えた制御装置の他の例の制御ブロック図、図14は電流フィードバック処理を加えた制御装置の他の例の制御ブロック図、図15は工作機械による穴あけ工程を示した図である。

【0028】

図1を参照して、制御装置1（本発明のアクチュエータの制御装置に相当する）は、自動車の変速機に備えられた同期機構2（本発明の接触機構に相当する）の作動を制御するものであり、マイクロコンピュータやメモリにより構成された電子ユニットである。

【0029】

同期機構 2 は、エンジン若しくは電気モータと連結された入力軸 5 と一体に回転するカップリングスリーブ 6（本発明の移動体、接触体及び第 1 の係合部材に相当する）、駆動輪（図示しない）に連結された出力軸（図示しない）と連結されて入力軸 5 に回転自在かつ軸動不可に設けられた被同期ギヤ 7（本発明の第 2 の係合部材に相当する）、カップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の間の入力軸 5 に回転自在且つ入力軸 5 の軸方向に移動自在に設けられたシンクロナイザリング 8（本発明の被接触体及び同期部材に相当する）、及び電気モータ 10（本発明のアクチュエータに相当する）とカップリングスリーブ 6 とに連結されたシフトホーク 11 を備えている。

【0030】

シフトホーク 11 は、電気モータ 10 の回転に応じてカップリングスリーブ 6 を入力軸 5 の軸方向に移動させる。また、カップリングスリーブ 6 は中空構造となっており、中空部の内周面にスプライン 12 が形成されている。そして、シンクロナイザリング 8 の外周面にカップリングスリーブ 6 のスプライン 12 と係合可能なスプライン 13 が形成され、被同期ギヤ 7 のシンクロナイザリング 8 と対向する部分の外周面にもカップリングスリーブ 6 のスプライン 12 と係合可能なスプライン 14 が形成されている。

【0031】

そして、入力軸 5 と共に回転したカップリングスリーブ 6 がシフトホーク 11 により被同期ギヤ 7 の方向に移動すると、カップリングスリーブ 6 とシンクロナイザリング 8 が接触し、さらにシンクロナイザリング 8 と被同期ギヤ 7 も接触する状態となる。このとき、接触により生じる摩擦力により、シンクロナイザリング 8 を介してカップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の回転数が同期する。

【0032】

このように、カップリングスリーブ 6 と被同ギヤ 7 の回転数が同期した状態で、カップリングスリーブ 6 をさらに被同期ギヤ 7 の方向に移動させると、カップリングスリーブ 6 に形成されたスプライン 12 が、シンクロナイザリング 8 に形成されたスプライン 13 を通過して被同期ギヤ 7 に形成されたスプライン 14 と係合する。そして、これにより、入力軸 5 と出力軸間で動力が伝達される状態と

なる。

【0033】

また、電気モータ 10 は制御装置 1 から出力される電圧 (V_{in} , 本発明の第 1 の操作量に相当する) の印加により作動し、回転数センサ 15 による電気モータ 10 の回転数検出信号 (E_s) が制御装置 1 に入力される。

【0034】

制御装置 1 は、電気モータ 10 の電機子に流れる電流 (I_m , 以下、電機子電流という) を検出する電流検出部 20、回転数センサ 15 からの回転数検出信号 (E_s) 等に基づいてカップリングスリーブ 6 の実位置 (P_{sc} , 本発明の第 1 の状態値に相当する) を把握する実位置把握部 21 (本発明の第 1 の状態値把握手段及び実位置把握手段に相当する)、カップリングスリーブ 6 を移動させてシンクロナイザリング 8 を介して被同期歯車 7 と係合させる過程におけるカップリングスリーブ 6 の目標位置 (P_{sc_cmd} , 本発明の第 1 の目標値に相当する) を設定する目標位置設定部 22 (本発明の目標位置設定手段に相当する)、電気モータ 10 に流れる電流の目標値である目標電流 (I_{m_cmd}) を設定する目標電流設定部 23、及び電気モータ 10 に印加する電圧 (V_{in} , 本発明の第 1 の操作量に相当する) を決定する電圧決定部 24 (本発明の操作量決定手段に相当する) を備えている。

【0035】

そして、実位置把握部 21 は、カップリングスリーブ 6 が移動を開始してから、シンクロナイザリング 8 との接触によりカップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の回転数が同期して、シンクロナイザリング 8 を介してカップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 とが係合するまで挙動を、慣性系物体と弾性系物体の衝突とみなしてモデル化し、該モデルに基づいてカップリングスリーブ 6 の位置を把握する。

【0036】

図 2 は該モデルを表したものであり、実位置把握部 21 は、カップリングスリーブ 6 を電気モータ 10 やシフトホーク 11 (図 1 参照) を含めて等価慣性が J_m である慣性系物体 30 とみなし、シンクロナイザリング 8 (図 1 参照) を等価

慣性が M_s であってバネ係数が K_s である弾性系物体31とみなして、カップリングスリーブ6の位置を把握する。なお、図2中、 T_m は電気モータ10の出力トルクであり、 P_{sc_def} はシンクロナイザリング8（図1参照）の待機位置である。以下、図2に示したモデルを表すモデル式の算出手順について説明する。

【0037】

まず、慣性系物体30が弾性系物体31に接触する前（カップリングスリーブ6がシンクロナイザリング8に接触する前）の連続時間系のモデル式の導出について説明する。

【0038】

図1に示した電気モータ10の運動方程式は以下の式（1）で表される。

【0039】

【数1】

$$J_m \cdot \omega = T_m \quad \text{----- (1)}$$

【0040】

但し、 J_m :電気モータ10及びシフトホーク11を含めたカップリングスリーブ6の等価慣性、 ω :電気モータ10の回転速度（回転数センサ15により検出される）、 T_m :電気モータ10の出力トルク。

【0041】

また、電気モータ10の出力トルク（ T_m ）と電気モータ10の電機子電流（ I_m ）との関係は以下の式（2）で表され、電気モータ10の電機子に生じる電圧（ V_m 、以下、電機子電圧という）と電機子の電気抵抗（ R_m 、以下、電機子抵抗という）との関係は以下の式（3）で表される。

【0042】

【数2】

$$T_m = K_m \cdot I_m \quad \text{----- (2)}$$

【0043】

但し、 I_m :電気モータ10の電機子電流、 K_m :トルク変換係数。

【0044】

【数 3】

$$V_m = R_m \cdot I_m \quad \text{----- (3)}$$

【0045】

但し、 V_m ：電気モータ 10 の電機子電圧、 R_m ：電気モータ 10 の電機子抵抗。

【0046】

したがって、上記式 (1) に上記式 (2) 及び式 (3) の関係を適用して、以下の式 (4) を得ることができる。

【0047】

【数 4】

$$V_m = \frac{J_m \cdot R_m}{K_m} \dot{\omega} \quad \text{----- (4)}$$

【0048】

さらに、電気モータ 10 への印加電圧 (V_{in}) と、電気モータ 10 に生じる逆起電力との関係は以下の式 (5) で表される。

【0049】

【数 5】

$$V_{in} = K_m' \cdot \omega + V_m \quad \text{----- (5)}$$

【0050】

但し、 V_{in} ：電気モータ 10 への印加電圧、 K_m' ：逆起電力定数。

【0051】

そして、上記式 (5) の関係を上記式 (4) に適用すると、以下の式 (6) を得ることができる。

【0052】

【数 6】

$$V_{in} = K_m' \cdot \omega + \frac{J_m \cdot R_m}{K_m} \dot{\omega} \quad \text{----- (6)}$$

【0053】

また、電気モータ 10 の回転速度 (ω) 及び回転角度 (θ) と、慣性系物体 3

0 の位置 (P_{sc}) との関係は、以下の式 (7) 及び式 (8) で表される。

【0054】

【数7】

$$\theta = \int_0^t \omega dt \quad \text{----- (7)}$$

【0055】

【数8】

$$P_{sc} = R_{sc} \cdot \theta \quad \text{----- (8)}$$

【0056】

但し、 ω ：電気モータ10の回転速度、 θ ：電気モータ10の回転角度、 t ：電気モータ10が作動を開始してからの経過時間、 R_{sc} ：電気モータ10の回転角度 (θ) と慣性系物体30の間のレバー比及びギヤ比。

【0057】

したがって、上記式 (7)、式 (8) から、以下の式 (9)、式 (10)、式 (11) を得ることができる。

【0058】

【数9】

$$P_{sc} = \int_0^t R_{sc} \cdot \omega dt \quad \text{----- (9)}$$

【0059】

【数10】

$$\begin{aligned} \dot{P}_{sc} &= \dot{R}_{sc} \cdot \theta = R_{sc} \cdot \dot{\theta} \\ &= R_{sc} \cdot \dot{\theta} & \times \dot{R}_{sc} &= 0 \\ &= R_{sc} \cdot \omega \end{aligned} \quad \text{----- (10)}$$

【0060】

【数11】

$$\begin{aligned} \ddot{P}_{sc} &= \dot{R}_{sc} \cdot \omega + R_{sc} \cdot \dot{\omega} \\ &= R_{sc} \cdot \dot{\omega} \end{aligned} \quad \text{----- (11)}$$

【0061】

そして、上記式(9)、式(10)、式(11)を上記式(6)に代入すると、以下の式(12)を得ることができる。

【0062】

【数12】

$$\dot{P}_{sc} = \frac{-K_m' K_m}{J_m R_m} \dot{P}_{sc} + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} V_{in} \quad \text{----- (12)}$$

【0063】

また、同期機構2の制御に必要な要素として、カップリングスリーブ6の位置(P_{sc})の他に、電気モータ10に掛かる負荷を検出するための電機子電流(I_m , 本発明の第2の状態値に相当する)がある。そこで、上記式(4)及び式(11)から、電機子電流(I_m)に関するモデル式である以下の式(13)を得る。

【0064】

【数13】

$$I_m = \frac{V_m}{R_m} = \frac{J_m}{K_m} \dot{\omega} = \frac{J_m}{K_m \cdot R_{sc}} \dot{P}_{sc} \quad \text{----- (13)}$$

【0065】

但し、 I_m : 電気モータ10の電機子電流。

【0066】

以上により、電気モータ10への印加電圧(V_{in})を入力とし、カップリングスリーブ6の実位置(P_{sc})と電気モータ10の電機子電流(I_m)を出力とする1入力2出力系のモデルは、上記式(12)と式(13)により表すことができる。

【0067】

次に、慣性系物体30が弾性系物体31と接触して、弾性系物体31からの反力を受けるようになったとき(カップリングスリーブ6がシンクロナイザリング8と接触して、シンクロナイザリング8からの反力を受けるようになったとき)の連続時間系のモデル式の導出について説明する。

【0068】

図 2 における慣性系物体 31 の運動方程式は以下の式 (14) で表される。

【0069】

【数 14】

$$M_s \ddot{P}_{sc} = -K_{sc}(P_{sc} - P_{sc_def}) + F_{sc} \quad \text{----- (14)}$$

【0070】

但し、 M_s ：弾性系物体 31 の等価慣性、 P_{sc_def} ：弾性系物体 31 の待機位置、 K_{sc} ：弾性系物体 30 のバネ定数、 F_{sc} ：弾性系物体 31 が慣性系物体 30 から受ける力（弾性系物体 31 が慣性系物体 30 に与える反力）。

【0071】

上記式 (14) を反力 (F_{sc}) について整理すると、以下の式 (15) の形で表される。

【0072】

【数 15】

$$F_{sc} = M_s \cdot \ddot{P}_{sc} + K_{sc}(P_{sc} - P_{sc_def}) \quad \text{----- (15)}$$

【0073】

ここで、反力 (F_{sc}) は、弾性系物体 31 が慣性系物体 30 に対して与える反力となり、該反力 (F_{sc}) が掛かったときの慣性系物体 30 の運動方程式は以下の式 (16) で表される。

【0074】

【数 16】

$$\begin{aligned} J_m \cdot \dot{\omega} &= T_m - R_{sc} \cdot F_{sc} \\ &= K_m \cdot I_m - R_{sc} \cdot F_{sc} \\ &= K_m \cdot V_m / R_m - R_{sc} \cdot F_{sc} \quad \text{----- (16)} \end{aligned}$$

【0075】

この式 (16) を変形すると以下の式 (17) の形となり、電気モータ 10 の逆起電力を考慮すると、電気モータ 10 への印加電圧 (V_{in}) と電機子電圧 (V_m) との関係は以下の式 (18) で表される。

【0076】

【数17】

$$V_m = \frac{J_m \cdot R_m}{K_m} \dot{\omega} + \frac{R_{sc} \cdot R_m}{K_m} F_{sc} \quad \dots\dots\dots (17)$$

【0077】

【数18】

$$\begin{aligned} V_{in} &= K_m' \cdot \omega + V_m \\ &= K_m' \cdot \omega + \frac{J_m \cdot R_m}{K_m} \dot{\omega} + \frac{R_{sc} \cdot R_m}{K_m} F_{sc} \quad \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

【0078】

また、式(18)に上記式(10)及び式(11)を代入すると以下の式(19)の形となり、式(19)を整理して以下の式(20)を得ることができる。

【0079】

【数19】

$$V_{in} = K_m' \cdot \dot{P}_{sc} / R_{sc} + \frac{J_m \cdot R_m}{K_m} \dot{P}_{sc} / R_{sc} + \frac{R_{sc} \cdot R_m}{K_m} F_{sc} \quad \dots\dots\dots (19)$$

【0080】

【数20】

$$\dot{P}_{sc} = \frac{-K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} \dot{P}_{sc} + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} V_{in} - \frac{R_{sc}^2 \cdot R_m}{J_m \cdot R_m} F_{sc} \quad \dots\dots\dots (20)$$

【0081】

さらに、電気モータ10の電機子電流(I_m)については、上記式(16)に上記式(11)を代入して、以下の式(21)を得ることができる。

【0082】

【数21】

$$I_m = \frac{J_m}{K_m \cdot R_{sc}} \dot{P}_{sc} + \frac{R_{sc}}{K_m} F_{sc} \quad \dots\dots\dots (21)$$

【0083】

以上により、弾性系物体31からの反力を考慮したモデルは、上記式(20)

と式(21)により表すことができる。

【0084】

次に、上記式(20)及び式(21)により表される連続時間系のモデル式に基づいて、離散時間系のモデル式を導出する。

【0085】

まず、連続時間系のモデルの状態変数(x_1 , x_2)を以下の式(22)のように設定すると、上記式(20)より、連続系のモデルを以下の式(23)により表すことができる。

【0086】

【数22】

$$\begin{cases} x_1 = P_{sc} \\ x_2 = \frac{dx_1}{dt} = \dot{P}_{sc}, \quad \frac{dx_2}{dt} = \dot{\dot{P}}_{sc} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (22)$$

【0087】

【数23】

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{-K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} x_2 + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} V_{in} - \frac{R_{sc}^2}{J_m} F_{sc} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (23)$$

【0088】

ここで、制御装置1のサンプリング周期をTとすると、上記式(23)は、オイラー近似により以下の式(24)の形で表され、式(24)を変形して以下の式(25)及び式(26)を得ることができる。

【0089】

【数24】

$$\begin{cases} \frac{x_1(t) - x_1(t-T)}{T} = x_2(t) \\ \frac{x_2(t) - x_1(t-T)}{T} = \frac{-K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} x_2(t-T) + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} V_{in}(t-T) - \frac{R_{sc}^2}{J_m} F_{sc} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (24)$$

【0090】

但し、 t : サンプリング時点、 T : サンプリング周期。

【0091】

【数25】

$$x_1(t) = x_1(t-T) + T \cdot x_2(t) \quad \text{----- (25)}$$

【0092】

【数26】

$$x_2(t) = \left(1 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T\right) x_2(t-T) + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} T \cdot V_{in}(t-T) - \frac{R_{sc}^2}{J_m} T \cdot F_{sc} \quad \text{----- (26)}$$

【0093】

さらに、オイラー近似により、上記式(26)における $x_2(t-T)$ は以下の式(27)で表すことができる。

【0094】

【数27】

$$x_2(t-2T) = \frac{x_1(t-T) - x_1(t-2T)}{T} \quad \text{----- (27)}$$

【0095】

そして、上記式(25)に上記式(26)及び式(27)を代入して整理すると、以下の式(28)を得ることができる。

【0096】

【数28】

$$x_1(t) = \left[2 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T\right] x_1(t-T) - \left[1 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T\right] x_1(t-2T) + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} T^2 \cdot V_{in}(t-T) - \frac{R_{sc}^2}{J_m} T^2 \cdot F_{sc} \quad \text{----- (28)}$$

【0097】

式(28)における $t = kT$ として整理すると、以下の式(29)の形となり、式(30)を得ることができる。

【0098】

【数 29】

$$x_1(k) = \left[2 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T \right] x_1(k-1) - \left[1 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T \right] x_1(k-2) \\ + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} T^2 \cdot V_{in}(k-1) - \frac{R_{sc}^2}{J_m} T^2 \cdot F_{sc} \quad \text{----- (29)}$$

【0099】

【数 30】

$$x_1(k+1) = \left[2 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T \right] x_1(k) - \left[1 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T \right] x_1(k-1) \\ + \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} T^2 \cdot V_{in}(k) - \frac{R_{sc}^2}{J_m} T^2 \cdot F_{sc} \quad \text{---- (30)}$$

【0100】

そして、上記式 (30) における係数を以下の式 (31) に示したように置き換えると、式 (30) は以下の式 (32) の形で表すことができる。

【0101】

【数 31】

$$\begin{cases} x_1 = P_{sc} \\ a_1 = 2 - \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T, \quad a_2 = -1 + \frac{K_m \cdot K_m'}{J_m \cdot R_m} T \\ b_1 = \frac{K_m \cdot R_{sc}}{J_m \cdot R_m} T^2 \\ d = \frac{R_{sc}^2}{J_m} T^2 \cdot F_{sc} \end{cases} \quad \text{----- (31)}$$

【0102】

【数 32】

$$P_{sc}(k+1) = a_1 \cdot P_{sc}(k) + a_2 \cdot P_{sc}(k-1) + b_1 \cdot V_{in}(k) + d \quad \text{----- (32)}$$

【0103】

そこで、制御装置 1 は、上記式 (32) により表される離散時間系のモデルにおける外乱項 d を 0 とした以下の式 (33) で表されるモデルに基づいて、図 3 に示した構成により設計される。以下、図 3 に示した制御装置 1 の構成について説明する。

【0104】

【数33】

$$P_{sc}(k+1) = a_1 \cdot P_{sc}(k) + a_2 \cdot P_{sc}(k-1) + b_1 \cdot V_{in}(k) \quad \text{----- (33)}$$

【0105】

先ず、上記式(33)で表されるモデルに対して、①慣性系物体30の実位置(P_{sc})を目標位置(P_{sc_cmd})に迅速に追従させ、②慣性系物体30と弾性系物体31の接触時のコンプライアンス性(ゴムのような弾性)を実現する、スライディングモードコントローラ40の設計手順について説明する。

【0106】

スライディングモードコントローラ40は、応答指定型制御の一例であるスライディングモード制御(本発明の第1の応答指定型制御に相当する)を用いて、慣性系物体30の挙動を制御する。そして、スライディングモードコントローラ40には、上記式(33)に基づいて実位置把握部21により算出される慣性系物体30の実位置(P_{sc})と、目標位置設定部22により設定される慣性系物体30の目標位置(P_{sc_cmd})と、後述するコンプライアンスパラメータ($VPOLE$)とが入力される。

【0107】

そして、慣性系物体30の実位置(P_{sc})と目標位置(P_{sc_cmd})との偏差(E_{sc})を以下の式(34)に示したように定義すると、偏差(E_{sc})の収束挙動や外乱が偏差(E_{sc})に与える影響度合を指定する切換関数(σ , 本発明の第1の線形関数に相当する)は、式(34)の状態変数が $P_{sc}(k)$ と $P_{sc}(k-1)$ の2つであるため、以下の式(35)のように定義される。

【0108】

【数34】

$$E_{sc}(k) = P_{sc}(k) - P_{sc_cmd}(k) \quad \text{----- (34)}$$

【0109】

【数35】

$$\sigma(k) = P_{sc}(k) + VPOLE \cdot E_{sc}(k-1) \quad \text{----- (35)}$$

【0110】

但し、VPOLE：コンプライアンスパラメータ（切換関数設定パラメータ）

。

【0111】

スライディングモードコントローラ40は、この切換関数（ σ ）が、 $\sigma(k)=0$ となるように制御入力を決定する。また、 $\sigma(k)=0$ は、上記式（35）から、以下の式（36）の形に変形することができる。

【0112】

【数36】

$$Esc(k) = -VPOLE \cdot Esc(k-1) \quad \text{----- (36)}$$

【0113】

ここで、式（36）は入力のない1次遅れ系を意味しているため、スライディングモードコントローラ40は、制御系の応答を上記式（36）の1次遅れ系に収束させる制御を実行する。

【0114】

したがって、図4（a）に示したように、縦軸を $Esc(k)$ とし横軸を $Esc(k-1)$ とした位相平面を設定すると、上記式（36）は、該位相平面上の線形関数を意味することがわかる。また、上記式（36）は入力のない1次遅れ系であるから、コンプライアンスパラメータ（VPOLE、本発明の演算係数に相当する）を以下の式（37）の範囲内に設定して、該1次遅れ系を安定化させれば、時間の経過（ $k \rightarrow \infty$ ）により偏差（ Esc ）が必ず0に収束する系となる。

【0115】

【数37】

$$-1 < VPOLE < 1 \quad \text{----- (37)}$$

【0116】

このことから、図4（a）に示した位相平面上において、偏差の状態量（ $Esc(k)$ 、 $Esc(k-1)$ 、本発明の第1の状態量に相当する）が切換関数（ $\sigma(k)=0$ 、本発明の第1の切換関数に相当する）上に載ると、該状態量は入力のない1次遅れ系に拘束されるため、時間の経過と共に位相平面の原点 $\{(Esc(k), Esc(k-1)) = (0, 0)\}$ に自動的に収束することになる。

【0117】

そこで、スライディングモードコントローラ 40 は、このような切換関数上での偏差の状態量 ($E_{sc}(k)$, $E_{sc}(k-1)$) の挙動を利用して、図 4 (a) に示したように、上記式 (35) で $\sigma = 0$ となるように制御入力 (V_{in}) を決定することによって、該状態量を切換関数 ($\sigma(k) = 0$) 上に拘束し、外乱やモデル化誤差の影響を受けることなく、該状態量を位相平面の原点に収束させる。

【0118】

なお、偏差の状態量が切換関数に漸近するまでの挙動 (図中 P_1 から P_2 までの過程) を到達モードといい、切換関数上を該状態量が自動的に原点方向に収束する挙動 (図中 P_2 から P_0 までの過程) をスライディングモードという。

【0119】

また、上記式 (36) のコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を正 ($0 < VPOLE < 1$) に設定すると、式 (36) で表される 1 次遅れ系は振動安定形となるため、偏差 (E_{sc}) を収束させる制御においては好ましくない。そこで、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を -1 から 0 の範囲 ($-1 < VPOLE < 0$) で決定することにより、偏差 (E_{sc}) の収束応答を図 4 (b) に示したように設定する。図 4 (b) において、 a , b , c は、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) をそれぞれ -1 , -0.8 , -0.5 に設定した場合の偏差 (E_{sc}) の推移を示しており、この場合、 $VPOLE = -1$ に設定すると、偏差 (E_{sc}) は 0 に収束せずに一定値となる。

【0120】

続いて、上記式 (36) の動特性、すなわち、スライディングモードコントローラ 40 の応答指定特性について説明する。図 5 は、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を -0.5 , -0.8 , -0.99 , -1.0 に設定して、 $\sigma = 0$ かつ $E_{sc} = 0$ である状態でステップ外乱 D を与えた場合の制御系の応答を示したグラフであり、縦軸を上から偏差 (E_{sc})、切換関数 (σ)、外乱 (D) とし、横軸を時間 (k) としたものである。

【0121】

図 5 から明らかなように、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の絶対

値を小さくするほど、外乱 (D) が偏差 (E_{sc}) に与える影響が小さくなり、逆に、コンプライアンスパラメータ (VPOL E) の絶対値を大きくして 1 に近づけるほど、スライディングモードコントローラが許容する偏差 (E_{sc}) が大きくなるという特性がある。そして、このとき、コンプライアンスパラメータ (VPOL E) に拘わらず切換関数の値 (σ) の挙動が同一となっていることから、外乱 (D) に対する許容量 (外乱に対する抑制能力) をコンプライアンスパラメータ (VPOL E) によって指定できることがわかる。

【0122】

そして、図 2 に示した慣性系物体 30 と弾性系物体 31 の接触時には、①慣性系物体 30 が弾性系物体 31 により跳ね返される、②慣性系物体 30 が過大な衝突力により弾性系物体 31 に押し込まれる、という状態となることを回避しつつ慣性系物体 30 を弾性系物体 31 に押付ける必要がある。

【0123】

そこで、上述した特性に着目し、慣性系物体 30 と弾性系物体 31 の接触時には、コンプライアンスパラメータ (VPOL E) を -1 の近傍に設定して外乱に対する偏差 (E_{sc}) の許容量を大きくする (外乱に対する抑制能力を低くすることによって、慣性系物体 30 と弾性系物体 31 が接触する際に電気モータ 10 の作動によるコンプライアンス性を生じさせることが有効である。

【0124】

これにより、慣性系物体 30 と弾性系物体 31 との接触時に過大な衝撃が生じることを抑制することができ、また、過大な力を弾性系モデル 31 に与えることなく、慣性系モデル 30 を弾性系モデル 31 に押付けることができる、という効果が得られる。

【0125】

この効果を図 1 に示した実際の同期機構 1 に適用して考察すると、カップリングスリーブ 6 がシンクロナイザリング 8 に接触する際に生じる衝撃を和らげることができる。また、過大な力をシンクロナイザリング 8 に与えることなくカップリングスリーブ 6 をシンクロナイザリング 8 に押付けて、カップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の回転数の同期させて係合させることができる。

【0126】

次に、スライディングモードコントローラの制御入力 (V_{in}) は、以下の式 (38) に示したように、3つの制御入力の総和により設定される。

【0127】

【数38】

$$V_{in}(k) = U_{sl}(k) = U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k) \quad \text{----- (38)}$$

【0128】

但し、 $V_{in}(k)$ ：k番目のサンプリング周期における電気モータ10への印加電圧、 $U_{eq}(k)$ ：k番目のサンプリング周期における等価制御入力、 $U_{rch}(k)$ ：k番目の制御サイクルにおける到達則入力、 $U_{adp}(k)$ ：k番目のサンプリング周期における適応則入力。

【0129】

なお、等価制御入力とは偏差の状態量 ($E_{sc}(k)$, $E_{sc}(k-1)$) を切換関数 ($\sigma = 0$) 上に拘束するための入力であり、到達則入力とは該状態量を該切換関数に載せるための入力であり、適応則入力とはモデル化誤差や外乱を吸収して該状態量を該切換関数に載せるための入力である。

【0130】

以下に、等価制御入力 ($U_{eq}(k)$)、到達則入力 ($U_{rch}(k)$)、及び適応則入力 ($U_{adp}(k)$) の設定方法について説明する。

【0131】

まず、等価制御入力 (U_{eq}) は、厳密には位相平面上の任意の場所において、偏差の状態量をその場所にホールドする機能を持つ。そのため、等価制御入力 (U_{eq}) は、以下の式 (39) を満たす印加電圧 (V_{in}) として算出される。

【0132】

【数39】

$$\sigma(k+1) = \sigma(k) \quad \text{----- (39)}$$

【0133】

式 (39) に上記式 (35) 及び式 (34) を代入すると、以下の式 (40) が得られる。

【0134】

【数40】

$$\begin{aligned} &Psc(k+1) - Psc_cmd(k+1) + VPOLE \{Psc(k) - Psc_cmd(k)\} \\ &= Psc(k) - Psc_cmd(k) + VPOLE \{Psc(k-1) - Psc_cmd(k-1)\} \quad \cdots (40) \end{aligned}$$

【0135】

そして、式(40)に上記式(33)を代入して整理することにより、等価制御入力(U_{eq})についての以下の式(41)を得ることができる。

【0136】

【数41】

$$\begin{aligned} U_{eq}(k) = V_{in}(k) = &\frac{1}{b_1} \{(1 - VPOLE - a_1)Psc(k) + (VPOLE - a_2)Psc(k-1)\} \\ &+ Psc_cmd(k+1) + (VPOLE - 1)Psc_cmd(k) - VPOLE \cdot Psc_cmd(k-1) \quad \cdots (41) \end{aligned}$$

【0137】

次に、到達則入力(U_{rch})は、以下の式(42)により算出される。

【0138】

【数42】

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{b_1} (|\sigma(k)| + \Delta) \text{sign}(\sigma(k)) \quad \cdots (42)$$

【0139】

但し、 F ：到達則ゲイン、 Δ ：切換振幅（機械的なバックラッシュやガタ等の非線形特性の吸収パラメータ）。

【0140】

また、切換振幅(Δ)をゼロ($\Delta = 0$)とすれば、上記式(42)は以下の式(43)の形で表される。

【0141】

【数43】

$$U_{rch}(k) = \frac{-F}{b_1} \sigma(k) \quad \cdots (43)$$

【0142】

また、適応則入力 (U_{sdp}) は、以下の式 (44) により算出される。

【0143】

【数44】

$$U_{adp}(k) = \frac{-G}{b_1} \cdot \sum_{i=0}^k \sigma(i) \quad \text{..... (44)}$$

【0144】

但し、 G ：適応則ゲイン。

【0145】

ここで、上記式 (41) の等価制御入力 ($U_{eq}(k)$)、上記式 (43) の到達則入力 ($U_{rch}(k)$)、及び上記式 (44) の適応則入力 ($U_{adp}(k)$) を上記式 (38) に代入して得られる制御入力 ($U_{sl}(k)$) を電気モータ 10 への印加電圧 (V_{in}) として上記式 (33) に代入すると、以下の式 (45) が得られる。

【0146】

【数45】

$$\begin{aligned} Psc(k+1) &= a_1 Psc(k) + a_2 Psc(k-1) + b_1 V_{in}(k) \\ &= a_1 Psc(k) + a_2 Psc(k-1) + b_1 (U_{eq}(k) + U_{rch}(k) + U_{adp}(k)) \\ &= a_1 Psc(k) + a_2 Psc(k-1) \\ &\quad + (1 - VPOLE - a_1) Psc(k) + (VPOLE - a_2) Psc(k-1) \\ &\quad + Psc_cmd(k+1) + (VPOLE - 1) Psc_cmd(k) - VPOLE \cdot Psc_cmd(k-1) \\ &\quad - F \sigma(k) - G \sum_{i=0}^k \sigma(i) \quad \text{..... (45)} \end{aligned}$$

【0147】

そして、式 (45) に上記式 (34) 及び式 (35) を適用して σ について整理すると、以下の式 (46) を得ることができる。

【0148】

【数46】

$$\sigma(k+1) = (1-F) \sigma(k) - G \sum_{i=0}^k \sigma(i) \quad \text{..... (46)}$$

【0149】

ここで、到達則入力 ($U_{rch}(k)$) と適応則入力 ($U_{adp}(k)$) の役割は、偏差状

態量 ($E_{sc}(k)$, $E_{sc}(k-1)$) を切換関数 ($\sigma = 0$) 上を移動させること、すなわち、上記式 (46) の安定化 ($\sigma \rightarrow 0$) であるので、上記式 (46) が安定になるように到達則ゲイン (F) と適応則ゲイン (G) を決定する必要がある。

【0150】

そこで、上記式 (46) を Z 変換すると、以下の式 (47) が得られ、式 (47) を変形して以下の式 (48) が得られる。

【0151】

【数 47】

$$Z \cdot \Sigma = (1-F) \Sigma - G \frac{T}{Z-1} \Sigma \quad \text{..... (47)}$$

【0152】

【数 48】

$$Z^2 \cdot \Sigma + Z(F-2) \Sigma + (GT+1-F) \Sigma = 0 \quad \text{..... (48)}$$

【0153】

この場合、上記式 (48) が安定となる条件は、左辺の第 2 項と第 3 項の係数 ($F-2$, $GT+1-F$) が、図 6 の三角領域内に入る組合わせとなるので、これらの係数が該三角領域内に入る組合わせとなるように F , G の値を決定すればよい。

【0154】

そして、スライディングモードコントローラ 40 は、このようにして決定した F , G の値により上記式 (43), 式 (44) から到達則入力 ($U_{rch}(k)$) と適応則入力 ($U_{adp}(k)$) をそれぞれ決定し、また、上記式 (41) から等価制御入力 ($U_{eq}(k)$) を決定して、上記式 (38) により電気モータ 10 への印加電圧 (V_{in}) を決定する。

【0155】

次に、図 1 を参照して、実際の同期機構 2 においては、カップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の回転数を同期させるため、一定の力でカップリングスリーブ 6 をシンクロナイズザリング 8 に押付ける必要がある。そこで、図 2 に示したモ

デルにおいて、慣性系物体 30 と弾性系物体 31 とが接触した後、一定の押付け力を慣性系物体 30 から弾性系物体 31 に加える制御を行うための構成が必要となる。

【0156】

ここで、慣性系物体 30 と弾性系物体 31 とが接触した状態での電気モータ 10 の電機子電流 (I_m) は上記式 (21) により示されるが、回転同期を図っている間は慣性系物体 30 の加速度はゼロ (P_{sc} の 2 階微分がゼロ) であると考えられるので、上記式 (21) は以下の式 (49) の形となる。

【0157】

【数 49】

$$I_m = \frac{R_{sc}}{K_m} F_{sc} \quad \text{..... (49)}$$

【0158】

そして、一定の押付け力は、慣性系物体 30 が弾性系物体 31 から受ける力 (F_{sc}) の反力であるから、押付け力を一定に保つためには、以下の式 (50) の関係が成り立てばよい。

【0159】

【数 50】

$$I_m = I_{m_cmd} \quad \text{..... (50)}$$

【0160】

但し、 I_{m_cmd} ：目標電流値。

【0161】

なお、目標電流値 (I_{m_cmd}) が本発明の押付け力の目標値に相当し、電流検出部 20 が本発明の押付け力把握手段に相当し、電流検出部 20 により検出される電気モータ 10 の電機子電流 (I_m) が本発明の押付け力に相当する。

【0162】

また、上記式 (50) を離散時間化して、実際の電機子電流 (I_m) と目標電流値 (I_{m_cmd}) との偏差 (E_{im}) を算出する以下の式 (51) を得ることができる。

【0163】

【数51】

$$E_{im}(k) = I_m(k) - I_{m_cmd} = 0 \quad \text{----- (51)}$$

【0164】

ここで、上記式(20)と式(21)から分かるように、同期機構2は、電気モータ10に印加する電圧(V_{in})を入力とし、慣性系物体30の位置(P_{sc})と電気モータ10の電機子電流(I_m)を出力とする1入力2出力系のモデルとして表される。

【0165】

しかし、慣性系物体30と弾性系物体31が接触するまでは、慣性系物体30の位置(P_{sc})の制御のみを行えばよい。そのため、スライディングモードコントローラ40は、同期機構2を、電気モータ10への印加電圧(V_{in})を入力とし慣性系物体30の位置(P_{sc})を出力とする1入力1出力系のモデルで表して制御を行えばよい。

【0166】

そのため、電気モータ10の電機子電流(I_m)のフィードバック制御を行なうためには、スライディングモードコントローラ40を、1入力1出力系のモデルを対象としたものから1入力2出力系のモデルを対象としたものに切り換える必要がある。しかし、このようにスライディングモードコントローラ40を切り換えると、入力(V_{in})の不連続性が生じてスライディングモードコントローラ40を切り換えた時の制御状態を安定化させることが難しい。

【0167】

そこで、電圧決定部24は、スライディングモードコントローラ40の切り換えを行わず、以下に説明するように、スライディングモードコントローラ40のコンプライアンス性を設定するコンプライアンスパラメータ(V_{POLE})を、電気モータ10の電機子電流(I_m)のフィードバックにより調整することによって、慣性系物体30から弾性系物体31への押付け力を安定化させる。

【0168】

先ず、電機子電流(I_m)のフィードバック制御は、①電機子電流(I_m)の目

標電流 (I_{m_cmd}) に対する速応性、②押付け力に比例する電機子電流 (I_m) の安定性、を考慮して以下の式 (52) から式 (57) による簡易型のスライディングモード制御 (本発明の第2の応答指定型制御に相当する) を用いて行う。

【0169】

【数52】

$$E_Im(k) = I_{m_cmd} - I_m(k) \quad \text{----- (52)}$$

【0170】

【数53】

$$\sigma_Im(k) = E_Im(k) + POIE_Im \cdot E_Im(k-1) \quad \text{----- (53)}$$

【0171】

【数54】

$$Urch_Im(k) = F_Im \cdot \sigma_Im(k) \quad \text{----- (54)}$$

【0172】

【数55】

$$Uadp_Im(k) = G_Im \cdot \sum_{i=0}^k \sigma_Im(i) \quad \text{----- (55)}$$

【0173】

【数56】

$$VPOLE_Im(k) = VPOLE_bs + Urch_Im(k) + Uadp_Im(k) \quad \text{----- (56)}$$

【0174】

【数57】

$$VPOLE(k) = \text{Limit}(VPOLE_Im(k)) \quad \text{----- (57)}$$

【0175】

但し、Limit: -1 ~ 0 の制限処理、 F_Im : 到達則ゲイン、 G_Im : 適応則ゲイン、 $POLE_Im$: 切換関数設定パラメータ、 $VPOLE_bs$: $VPOLE$ の基準値、 $Urch_Im$: 到達則入力、 $Uadp_Im$: 適応則入力。

【0176】

電流フィードバック系の制御ブロック図を示すと図7のようになる。図7の制御ブロック図では、1入力2出力系のモデルを制御対象とするスライディングモ

ードコントローラを用いる代わりに、1入力1出力のモデルを制御対象とするスライディングモードコントローラ40の外に電機子電流 (I_m) を制御する電流フィードバック部50aを備えた2重フィードバック系となっている。

【0177】

なお、電流フィードバック部50aは、図3に示したコンプライアンスパラメータ算出部41に含まれる。そして、減算器51により上記式(52)によって電流偏差 (E_{I_m} , 本発明の第2の状態量に相当する) が算出され、切換関数算出部52により上記式(53)によって切換関数 (σ_{I_m} , 本発明の第2の線形関数に相当する) の値が算出され、比例演算器53により上記式(54)によって到達則入力 ($U_{rch_I_m}$) が算出され、積分器55及び積分乗算器56により上記式(55)によって適応則入力 ($U_{adp_I_m}$) が算出される。

【0178】

また、加算器57及び加算器58により上記式(56)によって電流フィードバックを反映させたコンプライアンスパラメータ ($VPOLE_{I_m}$) が算出され、リミッタ59により上記式(57)によって制限処理がなされてスライディングモードコントローラ40に対するコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) が決定される。

【0179】

なお、上記式(55)の切換関数を0 ($\sigma_{I_m}(k)=0$) とした切換関数が本発明の第2の切換関数に相当し、上記式(56)により算出されるコンプライアンスパラメータ ($VPOLE_{I_m}$) が本発明の第2の操作量に相当する。

【0180】

次に、図3に示したコンプライアンスパラメータ算出部41は、同期機構2の作動を制御するスライディングモードコントローラ40のコンプライアンス性を設定するコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を、以下の3つの工程に分けて設定する。

【0181】

工程1：目標値追従制御…慣性系物体30の位置 (P_{sc}) 制御と慣性系物体30と弾性系物体31の接触時のコンプライアンス性の制御。コンプライアンスパ

ラメータ (VPOLE) を慣性系物体 30 の位置 (P_{sc}) に応じて決定する。

【0182】

工程 2：回転同期制御…弾性系物体 31 への押付け力の制御。コンプライアンスパラメータ (VPOLE) を、上述した電気モータ 10 の電機子電流のフィードバックにより決定する。

【0183】

工程 3：静止制御…回転同期後（同期機構 2 におけるカップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 の係合が完了した後）の慣性系物体 30 の前進挙動を停止する制御。コンプライアンスパラメータ (VPOLE) を一定に保つ。

【0184】

そして、コンプライアンスパラメータ算出部 41 は、同期機構 2 の機械的なバラツキや経年変化等により、工程 1 から工程 2 に切り換える位置や、工程 2 から工程 3 に切り換えるタイミングのばらつきや変化が生じて、安定して工程の切り換えを行う必要がある。以下に工程の切り換えタイミングを決定する方法について説明する。

【0185】

図 8 の上段のグラフは、各工程の切り換わり時における慣性系物体 30 の実位置 (P_{sc} 、図中 d) と目標位置 (P_{sc_cmd} 、図中 e) との偏差 ($E_{sc} = P_{sc} - P_{sc_cmd}$) の変化を示したものであり、縦軸が慣性系物体 30 の実位置 (P_{sc}) 及び目標位置 (P_{sc_cmd}) に設定され、横軸が時間 (t) に設定されている。グラフから明らかなように、各工程の切り換え時には、偏差 (E_{sc}) が以下のように変化する。

【0186】

・工程 1 から工程 2 への切り換え時：弾性系物体 31 との接触により慣性系物体 30 の移動が抑制されて、目標位置 (P_{sc_cmd}) に対して実位置 (P_{sc}) が遅れる状態となり、偏差 (E_{sc}) が負方向に増大する。

【0187】

・工程 2 から工程 3 への切り換え時：弾性系物体 31 と慣性系物体 30 の回転同期が終了して、慣性系物体 30 の位置 (P_{sc}) が目標位置 (P_{sc_cmd}) に達す

ると、偏差（E_{sc}）が正方向に減少する。

【0188】

そこで、このような偏差（E_{sc}）の変化を検出することによって各工程の切り換えを行い、図8の下段に示したように、コンプライアンスパラメータ（V_{POL}E、図中f）の値を各工程に応じて設定すればよい。

【0189】

しかし、図1に示した実際の同期機構2は、機械的なバックラッシュやガタ、フリクションが大きい制御対象である。そのため、制御装置1のサンプリング周期を短く設定した方が制御性が高くなるが、サンプリング周期を短く設定して偏差（E_{sc}）を算出すると、S/N比が低下して偏差（E_{sc}）の変化を検出し難くなる。そこで、V_{in}決定部24に備えられたウェーブレット変換フィルタ43（図3参照）は、以下に説明するように、偏差（E_{sc}）にウェーブレット変換を施して偏差（E_{sc}）の低周波成分のみを抽出することにより、偏差（E_{sc}）の変化を検出し易くする。

【0190】

ウェーブレット変換43を用いたフィルタ（以下、ウェーブレット変換フィルタという）は、図9（a）に示した構成を有し、以下の式（58）によるハーフバンドローパスフィルタ処理とデシメーション処理を2回繰り返すことによってフィルタリングを行う。

【0191】

【数58】

$$G_l(\eta) = 0.7071 \times u(\eta) + 0.7071 \times u(\eta-1) \quad \cdots \cdots (58)$$

【0192】

但し、u：入力データ、 η ：サンプリング周期の時系列番号。

【0193】

図9（a）に示した1段目のハーフバンドローパスフィルタ70は、今回のサンプリング周期入力値（E_{sc}(k)）と前回のサンプリング周期の入力値（E_{sc}(k-1)）に対して上記式（57）の処理を行い、2段目のハーフバンドローパスフィルタ71は、1段目のハーフバンドローパスフィルタ70の出力にデシメーショ

ン処理 72 を施した $E_{sc_wv1}(m_1)$ の今回値と前回値 ($E_{sc_wv1}(m_1)$ と $E_{sc_wv1}(m_{1-1})$) に対して、上記式 (58) の処理を行う。

【0194】

図 9 (b) に示したように、ハーフバンドローパスフィルタ 70, 71 は、サンプリング周波数の半分 (ナイキスト周波数) 以上の周波数成分を阻止し、低周波成分のゲインが 1 より大きいので、低周波成分に対するゲインを増幅する効果が得られる。

【0195】

また、図 9 (a) におけるデシメーション処理 72, 73 (2↓) は間引き処理であり、図 10 (a) に示したように、入力データ (u) を 1 つおきにサンプリングする間引き処理を行う。

【0196】

ウェーブレット変換フィルタ 43 は、ハーフバンドローパスフィルタ 70, 71 による処理とデシメーション処理 72, 73 を繰り返し施すことによって、図 10 (b) のグラフに示したようにゲインを増幅しつつ低周波成分 (E_{sc_wv}) を抽出する。なお、図 10 (b) に示したグラフの縦軸はゲイン、横軸は周波数に設定されている。

【0197】

そして、これにより、入力信号 (E_{sc}) の高周波成分が除去されると共に、入力信号 (E_{sc}) に対するゲインが増幅されるため、入力信号 (E_{sc}) の低周波成分の変化を SN 比を向上させて抽出することができる。

【0198】

そして、コンプライアンスパラメータ算出部 41 は、偏差 (E_{sc}) のウェーブレット変換値 (E_{sc_wv}) の変化量である ΔE_{sc_wv} ($= E_{sc_wv}(m) - E_{sc_wv}(m-1)$) を用いて、以下に示すように各工程の切り換えを行う。

【0199】

・工程 1 から工程 2 への切り換え： $P_{sc} > P_{sc_def}$ 且つ $E_{sc_wv} > X_{SCCN}$
T

・工程 2 から工程 3 への切り換え： $P_{sc} > P_{sc_def}$ かつ $\Delta E_{sc_wv} > X_{SC}$

DONE

但し、 P_{sc_vp} : 工程 1 における $V P O L E$ 可変開始位置、 X_SCCNT : E_{sc_wv} の接触判定閾値、 X_SCDONE : 回転同期完了判定閾値。

【0200】

なお、上記切換条件における E_{sc_wv} 及び ΔE_{sc_wv} が本発明の目標位置に対する実位置の乖離度合に相当し、 X_SCCNT 及び X_SCDONE が本発明の所定レベルに相当する。

【0201】

以上説明した手法により構成された制御装置 1 により、同期機構 7 の作動を制御する手順を図 11 に示したフローチャートに従って説明する。制御装置 1 は、自動車のメインコントローラ (図示しない) から変速機のシフトを指示する信号を受信すると、STEP 1 から STEP 2 に進む。

【0202】

そして、制御装置 1 は、メインコントローラによって選択されたシフト位置 (1 速、2 速、・・・、ニュートラル) に応じて、目標位置設定部 22 により、図 12 (a) に示したようにカップリングスリーブ 6 の移動パターンを目標位置 (P_{sc_cmd}) として設定する。また、制御装置 1 は、工程 1 におけるコンプライアンスパラメータ ($V P O L E$) の変更位置 (P_{sc_vp}) とシンクロナイザリング 8 の待機位置 (P_{sc_def}) を設定する。

【0203】

そして、続く STEP 3 で、制御装置 1 は、実位置把握部 21 により上記式 (33) によって算出されるカップリングスリーブ 6 の実位置 (P_{sc}) と目標位置 (P_{sc_cmd}) との偏差 (E_{sc}) を算出する。なお、図中 k は k 番目のサンプリング周期を意味し、 $P_{sc}(k)$ 及び $P_{sc_cmd}(k)$ はそれぞれ k 番目のサンプリング周期におけるカップリングスリーブ 6 の実位置と目標位置を表す。

【0204】

次の STEP 4 で、制御装置 1 は、上述したウェーブレット変換フィルタ 43 による処理を行って、偏差 (E_{sc}) のウェーブレット変換値 (E_{sc_wv}) を算出する。なお、図中 $E_{sc_wv}(m)$ は、図 9 (a) に示したように k 番目のサンプリン

グ周期における偏差 ($E_{sc}(k)$) に基づいて算出されたウェーブレット変換値を表している。

【0205】

次のSTEP 5～STEP 7は、上述した各工程（工程1，工程2，工程3）の切り換えタイミングを判断する処理であり、STEP 5及びSTEP 6が工程1から工程2への切り換え条件を設定し、STEP 7は工程2から工程3への切り換え条件を設定している。

【0206】

まず、STEP 5でカップリングスリーブ6の実位置 ($P_{sc}(k)$) が、シンクロナイザリング8の待機位置 (P_{sc_def}) を通過するまではSTEP 20に分岐し、図12 (b) に示したコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の設定テーブルに従って、コンプライアンスパラメータ算出部41がコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を0の近傍（例えば-0.2）に設定する。なお、図12 (b) に示した設定テーブルは、縦軸がコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) に設定され、横軸がカップリングスリーブ6の実位置 (P_{sc}) に設定されている。

【0207】

これにより、カップリングスリーブ6の移動を開始してからコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の変更位置 (P_{sc_vp}) に到達するまでは、同期機構2のコンプライアンス性が低くなり、外乱の影響を抑制して安定してカップリングスリーブ6を移動させることができる。

【0208】

また、カップリングスリーブ6がコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の変更位置 (P_{sc_vp}) を通過した時に、コンプライアンスパラメータ算出部41は、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) を-1の近傍（例えば-0.99）まで低下させる。このように、実際にカップリングスリーブ6とシンクロナイザリング8が接触する直前に予めコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の値を低下させて同期機構2のコンプライアンス性を高めることによって、カップリングスリーブ6がシンクロナイザリング8に接触したときに生じる衝撃を

和らげることができる。

【0209】

そして、次のSTEP 6で、上述した工程1から工程2への切り換え条件である $E_{sc_wv(m)} > X_SCCNT$ が成立したとき、すなわち、カップリングスリーブ6とシンクロナイザリング8との接触が検知されたときにSTEP 7に進む。STEP 7では、上述した工程2から工程3への切り換え条件である $\Delta E_{sc_wv(m)} > X_SCDONE$ が成立したとき、すなわち、カップリングスリーブ6とシンクロナイザリング8との回転同期がなされて、カップリングスリーブ6がシンクロナイザリング8を通過して被同期ギヤ7と係合したときに、STEP 30に分岐する。

【0210】

一方、STEP 7で、 $\Delta E_{sc_wv(m)} > X_SCDONE$ が成立しないときにはSTEP 8に進み、コンプライアンスパラメータ算出部41は、工程1から工程2に切り換えて上述した電流フィードバックによるコンプライアンスパラメータ (VPOLE) の算出処理を実行する。そして、電圧決定部24は、このようにして算出したコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を用いてスライディングモードコントローラ40により電気モータ10に対する印加電圧 (V_{in}) を算出し、該印加電圧 (V_{in}) を電気モータ10に印加する。

【0211】

このように、工程2においては、電気モータ10の電機子電流 (I_m) のフィードバック処理により電気モータ10の電機子電流 (I_m) が目標電流 (I_{m_cmd}) に維持されて、電気モータ10の出力トルクが一定に制御され、カップリングスリーブ6のシンクロナイザリング8に対する押付け力を安定化させることができる。

【0212】

そして、これにより、カップリングスリーブ6が過剰な力でシンクロナイザリング8に押付けられて、同期機構2の破損が生じることを防止することができる。

【0213】

また、工程3においては、STEP 30において、コンプライアンスパラメー

タ算出部 41 によりコンプライアンスパラメータ (VPOLE) が一定値 (X_VPOLE_END) に設定される。そして、電圧決定部 24 は、該コンプライアンスパラメータ ($VPOLE = X_VPOLE_END$) を用いてスライディングモードコントローラ 40 により電気モータ 10 に対する印加電圧 (V_{in}) を算出し、該印可電圧 (V_{in}) を電気モータ 10 に印可してカップリングスリーブ 6 の移動を速やかに停止する。

【0214】

これにより、カップリングスリーブ 6 と被同期ギヤ 7 との係合が完了した後も、カップリングスリーブ 6 が非同期ギヤ 7 に過剰な力で押付けられて、同期機構 2 の破損等が生じることを防止することができる。

【0215】

なお、本実施の形態では、上述したように、慣性系物体 30 の位置 (P_{sc}) が目標位置 (P_{sc_cmd}) に到達したときに、工程 1 による慣性系物体 30 の位置に応じてコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を決定する制御から、工程 2 による弾性系物体 30 への押付け力 (モータ 10 の電機子電流の大きさに比例する) に応じてコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を決定する制御に切り換えたが、アクチュエータによって駆動する機構の仕様によっては、電気モータ 10 の電機子電流 (I_m) の変化に応じて、制御態様の切換条件を設定してもよい。

【0216】

また、本実施の形態では、図 7 に示した構成により、電流フィードバック部 50a において、上述した演算処理を行ってコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を決定したが、他の構成として、図 13 に示したように、電流偏差 ($I_m - I_{m_cmd}$) とコンプライアンスパラメータ (VPOLE) との関係を予め設定した相関マップ 60 を備えた電流フィードバック部 50b を用い、該相関マップ 60 に電流偏差 ($I_m - I_{m_cmd}$) を適用してコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を決定するようにしてもよい。

【0217】

また、さらに他の構成として、図 14 に示した電流フィードバック部 50c に

より、I-PD制御を行ってコンプライアンスパラメータ (VPOLE) を決定してもよい。なお、減算器 51, 加算器 58, リミッタ 59 は、図 7 に示した電流フィードバック部 50a における同一符号の構成と同様である。

【0218】

電流フィードバック部 50c においては、以下の式 (59) 及び式 (60) を用いてコンプライアンスパラメータ (VPOLE(k)) が算出される。具体的には、比例演算器 61 により以下の式 (59) の右辺の第 2 項の演算が行われ、Z 変換器 62 と減算器 63 と微分演算器 64 とにより式 (59) の右辺の第 3 項の演算が行われ、減算器 51 と積分乗算器 66 とにより式 (59) の右辺の第 4 項の演算が行われる。

【0219】

【数 59】

$$\begin{aligned} \text{VPOLE_Im}(k) = & \text{VPOLE_bs} \\ & + \text{KIMP} \cdot \text{Im}(k) \\ & + \text{KIMD} \{ \text{Im}(k) - \text{Im}(k-1) \} \\ & + \text{KIMI} \cdot \sum_{j=0}^k \text{E_Im}(j) \quad \text{----- (59)} \end{aligned}$$

【0220】

但し、VPOLE_Im(k)：k 番目のサンプリング周期におけるコンプライアンスパラメータ)、VPOLE_bs：コンプライアンスパラメータの基準値、KIMP：比例項のフィードバックゲイン、KIMD：微分項のフィードバックゲイン、KIMI：積分項のフィードバックゲイン、Im(k)：k 番目のサンプリング周期におけるモータ 10 の電機子電流。

【0221】

【数 60】

$$\text{E_Im}(k) = \text{Im}(k) - \text{Im_cmd} \quad \text{----- (60)}$$

【0222】

但し、Im_cmd：目標電流値。

【0223】

そして、加算器 67 と加算器 68 と加算器 58 とにより、上記式 (59) の右

辺の各項の加算が行われて $VPOLE_Im(k)$ が算出され、リミッタ 59 により上記式 (57) の制限処理が行われて、コンプライアンスパラメータ ($VPOLE(k)$) が決定される。

【0224】

また、本実施の形態では、図 1 に示したように、カップリングスリーブ 6 を入力軸 5 側に設け、被同期ギヤ 7 を駆動軸と連結した同期機構 2 を対象としたが、カップリングスリーブを出力軸側に設けて、被同期ギヤを入力軸と連結した同期機構に対しても本発明の適用が可能である。

【0225】

また、本実施の形態では、電圧決定部 24 は、外乱等の影響を考慮した適応則入力を有する適応スライディングモードを用いたが、該適応則入力を省略した一般のスライディングモード制御を用いるようにしてもよく、また、バックステッピング制御等の他の種類の応答指定型制御を用いることもできる。また、電圧決定部 24 は、スライディングモード制御を用いて電流フィードバック処理を行ったが、スライディングモード制御を用いずに電流フィードバック処理を行う場合にも、本発明の効果を得ることができる。

【0226】

また、本実施の形態では、実位置把握部 21 は、図 2 に示したモデルに基づいてカップリングスリーブ 6 の実位置 (P_{sc}) を把握したが、位置センサを設けて該位置センサの位置検出信号とモータ 10 とカップリングスリーブ 6 間のレバー比等から、直接的にカップリングスリーブ 6 の実位置 (P_{sc}) を把握するようにしてもよい。

【0227】

また、本実施の形態では、自動車の変速機に備えられた同期機構 2 に対して本発明を適用した例を示したが、本発明の適用対象はこれに限られない。例えば、図 15 は、ワーク 80 に対してエンドミル 81 によって穴あけ加工を施す工作機械を、エンドミル 81 側を慣性系物体としワーク 80 側を弾性系物体としてモデル化し、本発明を適用した例を示している。なお、エンドミル 81 はチャック 82 により上下移動アクチュエータ 83 に取り付けられている。

【0228】

図15に示したように、上述した同期機構2に対する制御の場合と同様に、穴あけ加工を施す工程は以下の3つに分けられる。

【0229】

・工程1：エンドミル81がワーク80に接触するまで、エンドミル81の先端を短時間でワーク80に到達させ、かつ、エンドミル81とワーク80の接触時の衝撃を抑制する。

【0230】

・工程2：エンドミル81に一定の押付け力 (F_c) を加えながらワーク80を切削する。

【0231】

・工程3：ワーク80の穴あけが終了してワーク80からの抗力がなくなると、エンドミル81が急激に下降するため、チャック82がワーク80に衝突しないようにエンドミル81の下降を停止する。

【0232】

そして、エンドミル81の実位置 (P_y) を図1に示した同期機構2におけるカップリングスリーブ6の実位置 (P_{sc}) に置換え、工程1におけるコンプライアンスパラメータ ($VPOLE$) の変更位置 (P_{y_vp} , 同期機構2の制御における P_{sc_vp} に相当する) と、ワーク80の待機位置 (P_{y_def} , 同期機構2の制御における P_{sc_def} に相当する) 等を設定して、上下移動アクチュエータ83の作動を制御することによって、穴あけ時間の短縮を図ると共にエンドミル81とワーク80の接触時の衝撃を和らげることができる。

【0233】

また、工程2において、エンドミル81よりワーク80に過剰な押付け力が加わることを防止して、エンドミル81の押付け力を所定の目標押付け力に維持することができ、工程3において、エンドミル81の速やかに停止させることができる。

【0234】

なお、本実施の形態では、本発明のアクチュエータとして電気モータ10を用

いた例を示したが、他の種類の電気アクチュエータや、空圧や油圧アクチュエータを用いた場合であっても、本発明の適用が可能である。

【0235】

また、本実施の形態では、本発明の第1の状態値がアクチュエータにより移動される物体の位置であり、本発明の第2の状態値が該物体に働く力の大きさである例を示したが、他の種類の状態値を採用してアクチュエータの作動を制御する場合にも本発明の適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 同期機構及びその制御装置の構成図。

【図2】 図1に示した同期機構のモデル化の説明図。

【図3】 図1に示した制御装置の制御ブロック図。

【図4】 図3に示したスライディングモードコントローラの挙動を示したグラフ。

【図5】 コンプライアンスパラメータの変更による効果を示したグラフ。

【図6】 到達則ゲインと適応則ゲインの設定条件を示したグラフ。

【図7】 電流フィードバック処理を加えた制御装置の制御ブロック図。

【図8】 制御工程の切換タイミングを示したグラフ。

【図9】 ウェーブレット変換フィルタの構成図。

【図10】 ウェーブレット変換フィルタにおけるデシメーション処理の説明図。

【図11】 制御装置の作動フローチャート。

【図12】 目標位置とコンプライアンスパラメータの設定テーブルを示した図。

【図13】 電流フィードバック処理を加えた制御装置の他の例の制御ブロック図。

【図14】 電流フィードバック処理を加えた制御装置の他の例の制御ブロック図。

【図15】 工作機械による穴あけ工程を示した図。

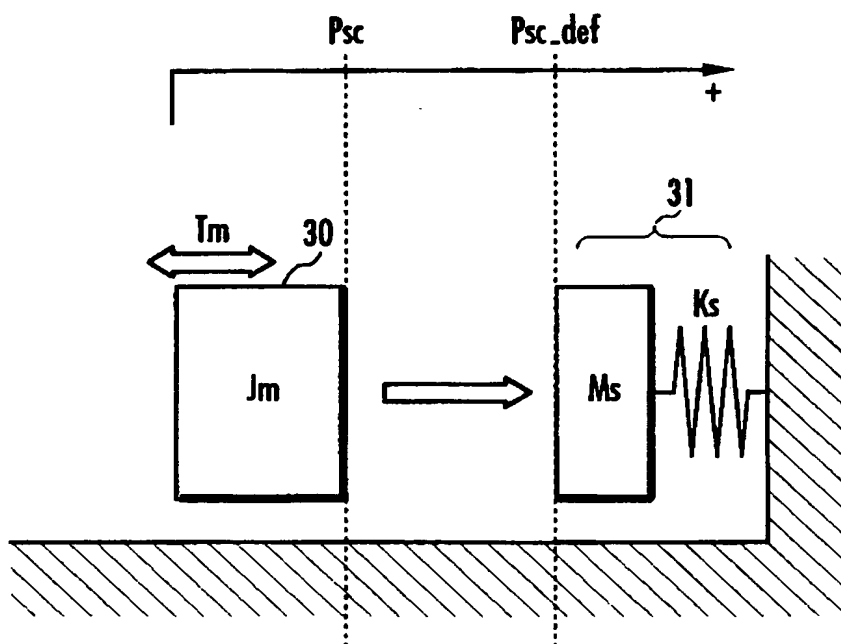
【図16】 従来の同期機構の構成図。

【符号の説明】

1…制御装置、2…同期機構、5…入力軸、6…カップリングスリーブ、7…被同期ギヤ、8…シンクロナイザリング、10…モータ、11…シフトホーク、15…回転数センサ、20…電流検出部、21…実位置把握部、22…目標位置設定部、23…目標電流設定部、24…電圧決定部、30…慣性系物体、31…弾性系物体

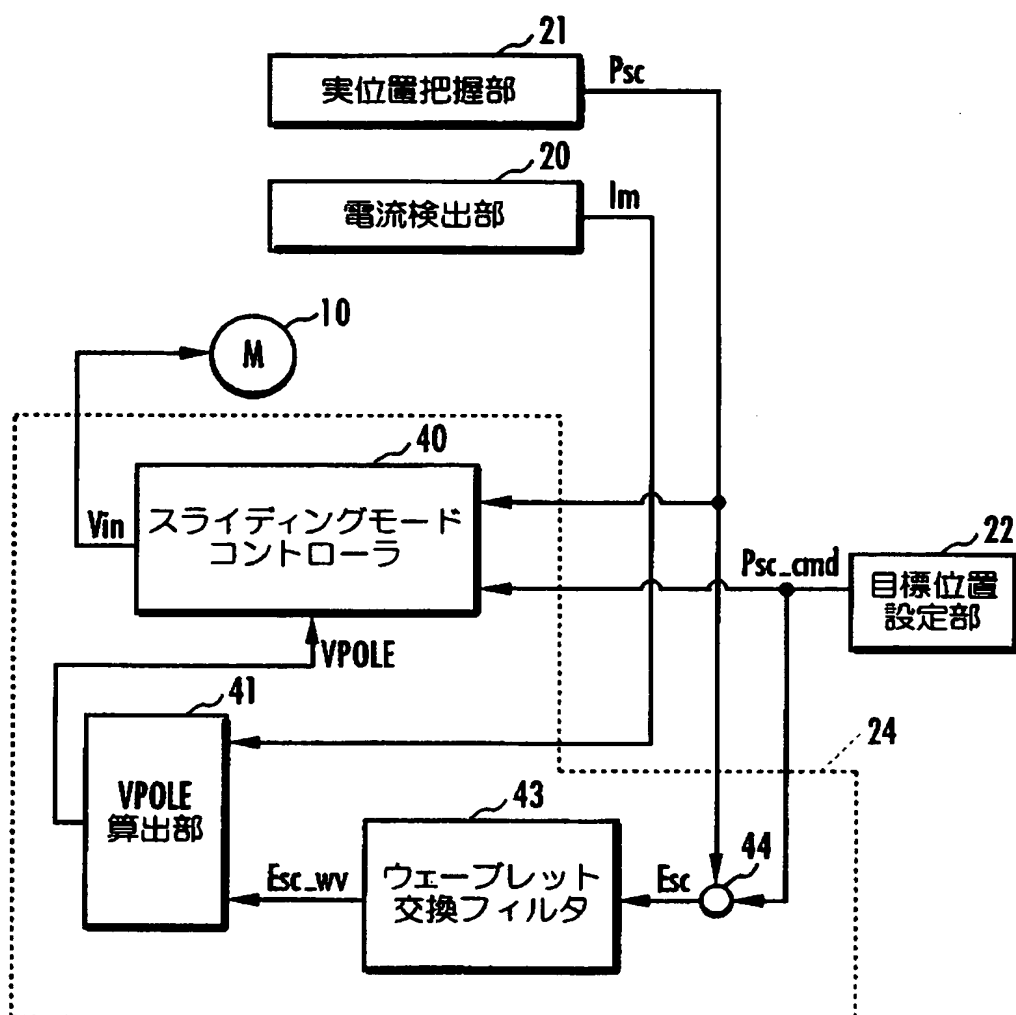
【図 2】

FIG. 2



【図 3】

FIG. 3



【図 4】

FIG. 4 (a)

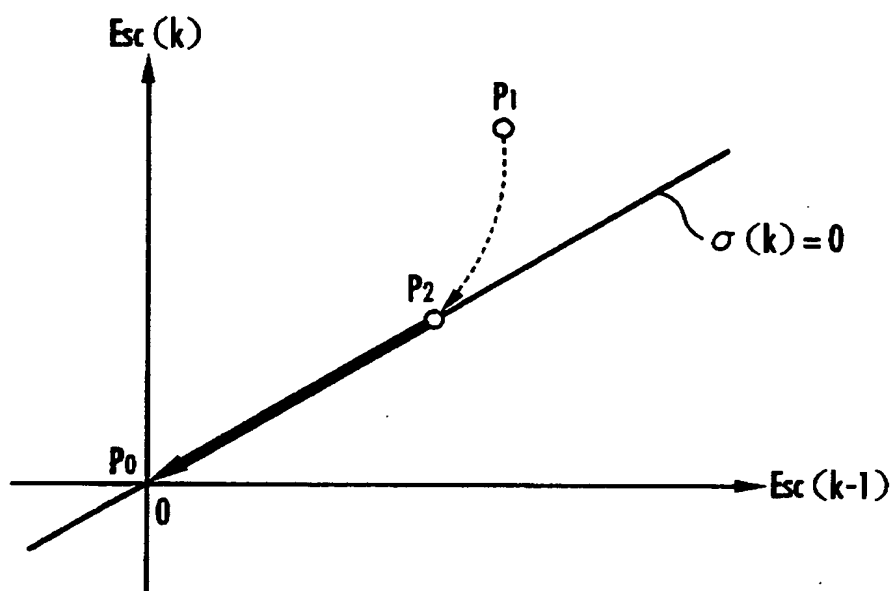
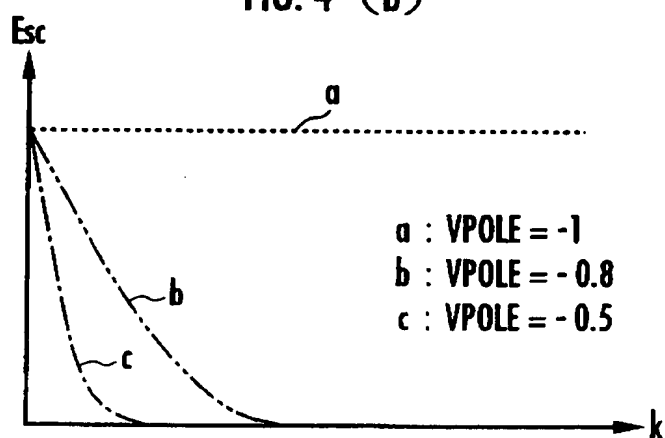
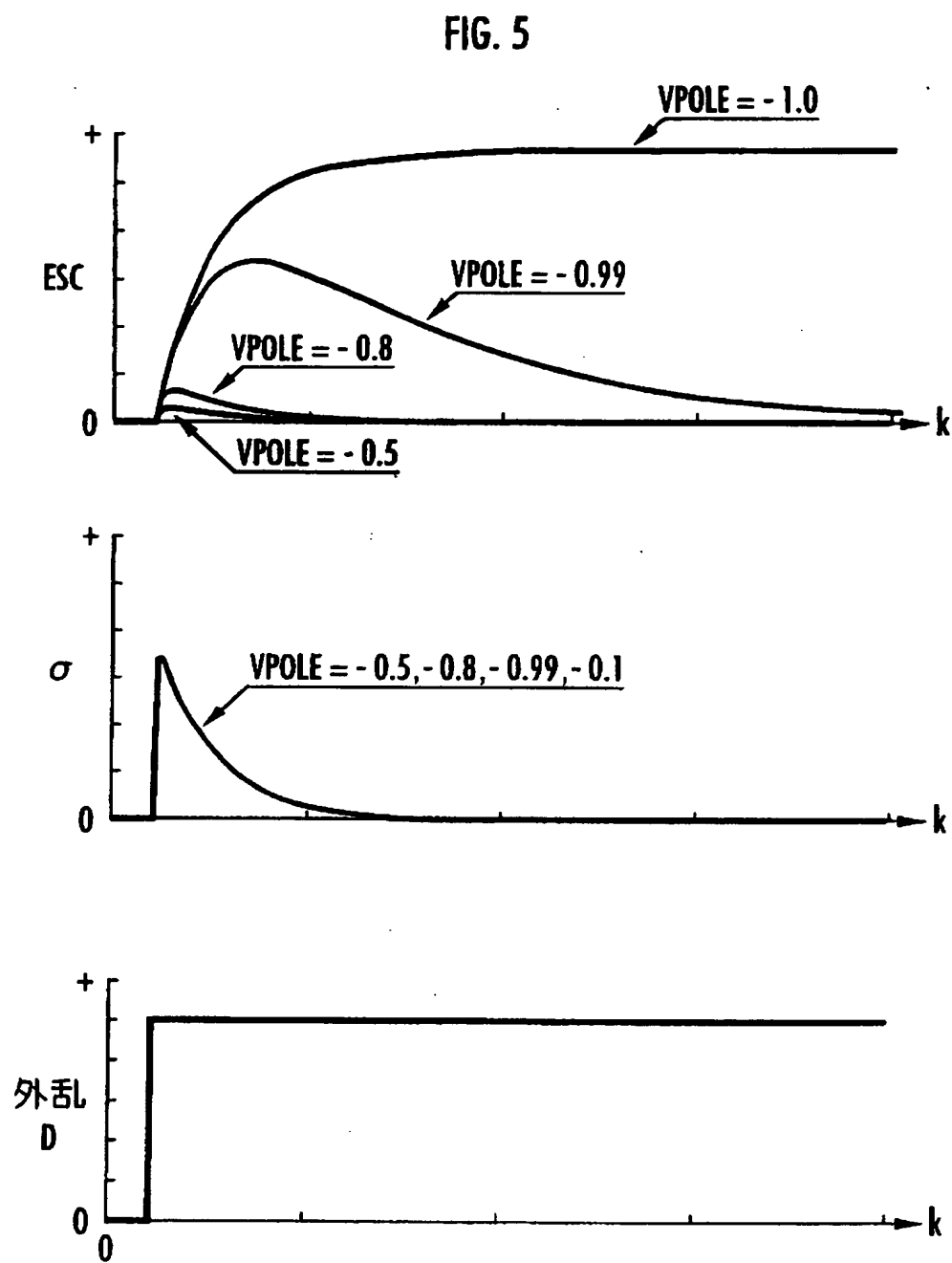


FIG. 4 (b)

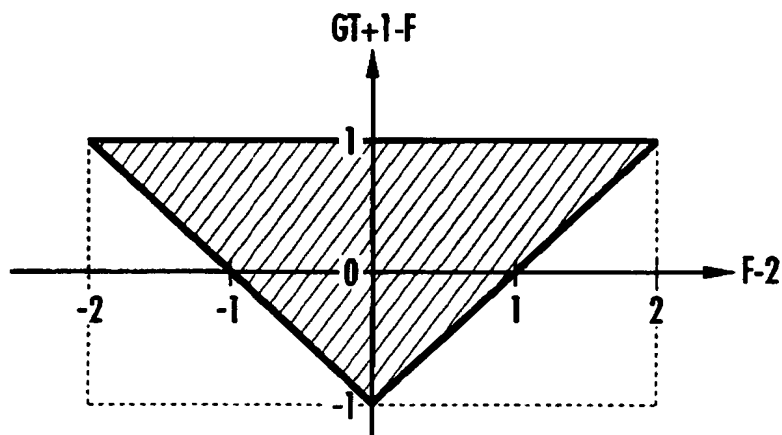


【図 5】

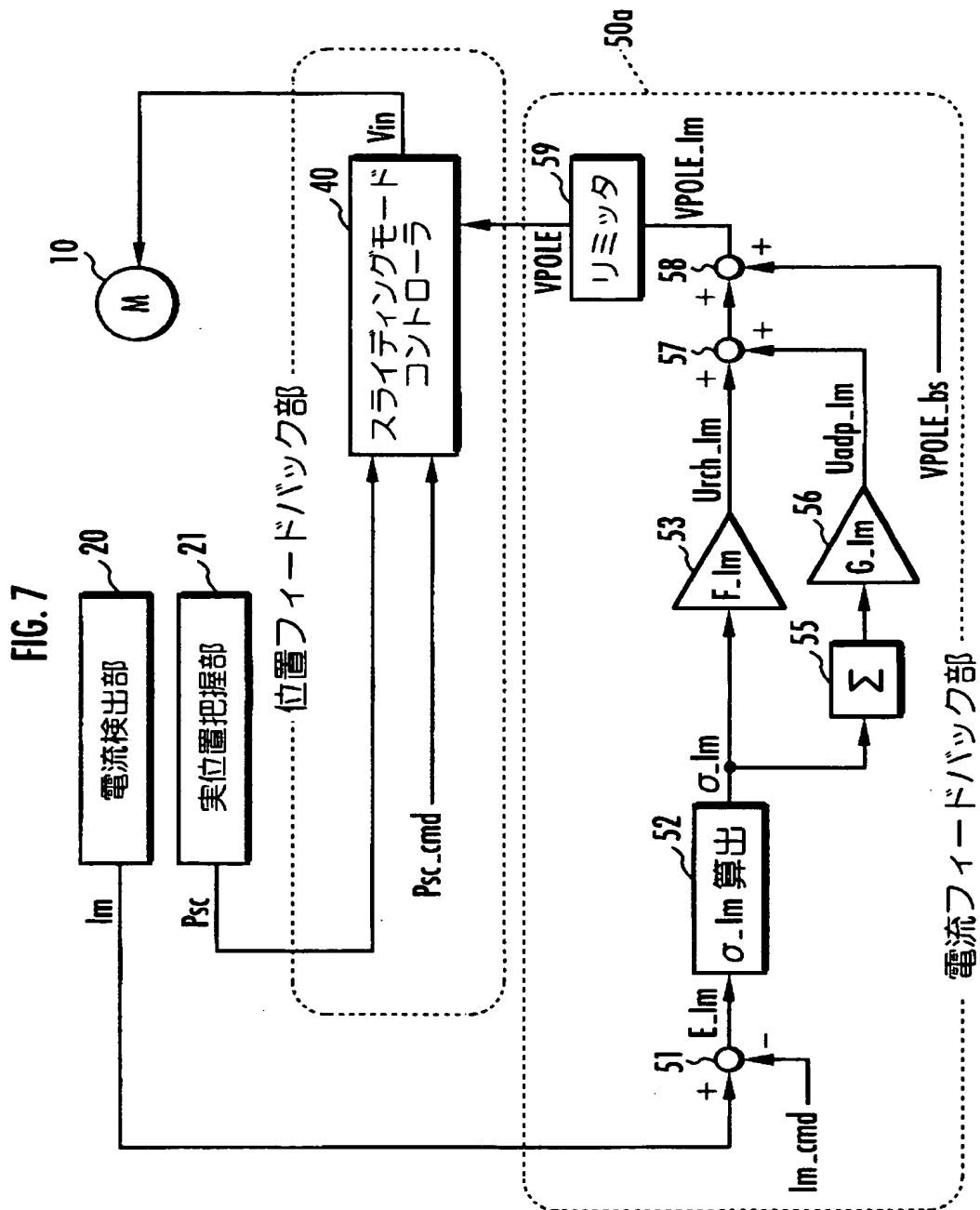


【図 6】

FIG. 6

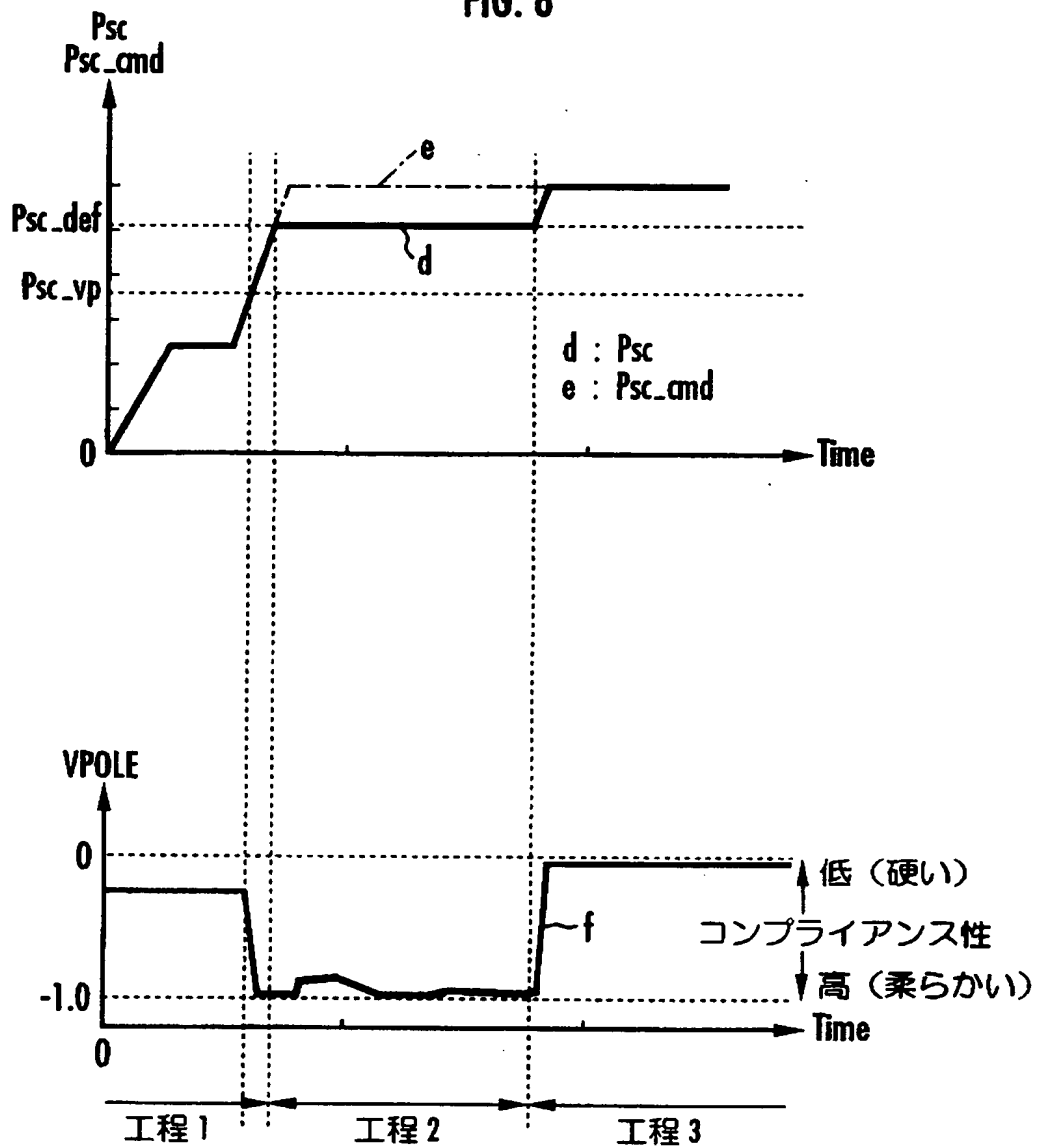


【図 7】



【図 8】

FIG. 8



【図 9】

FIG. 9 (a)

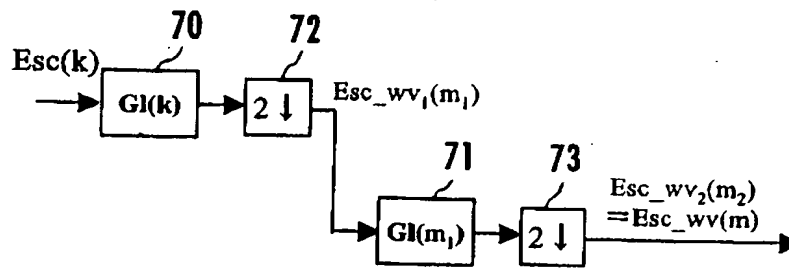
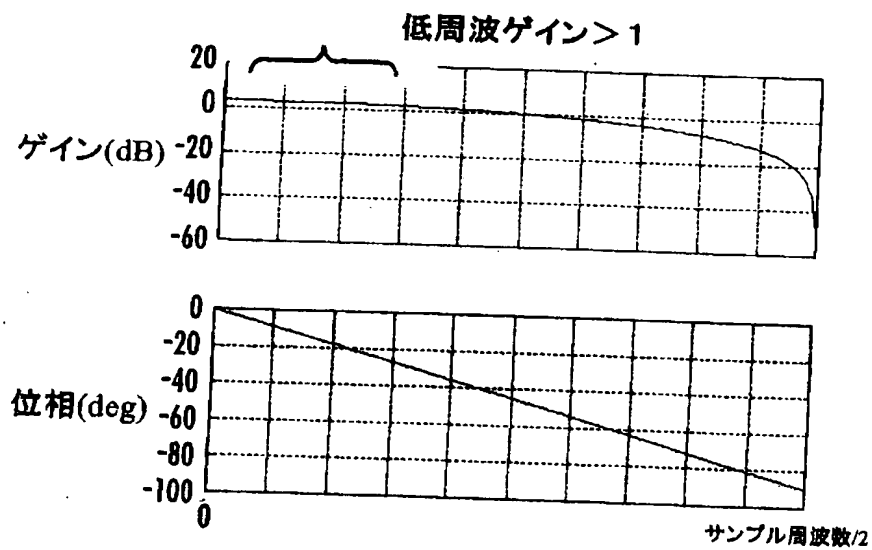


FIG. 9 (b)

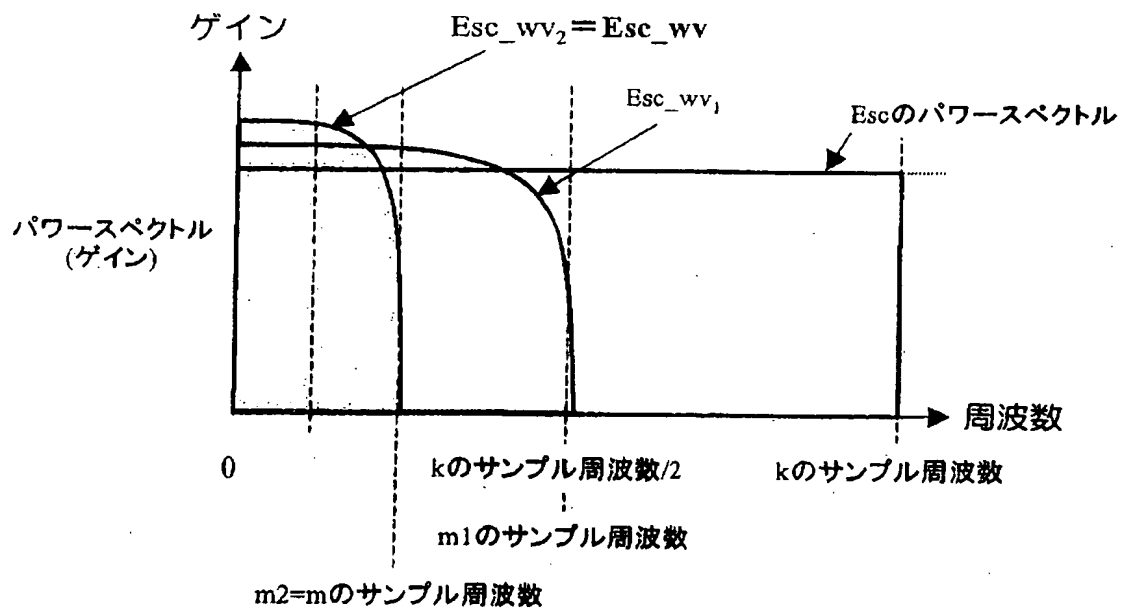


【図 10】

FIG. 10 (a)

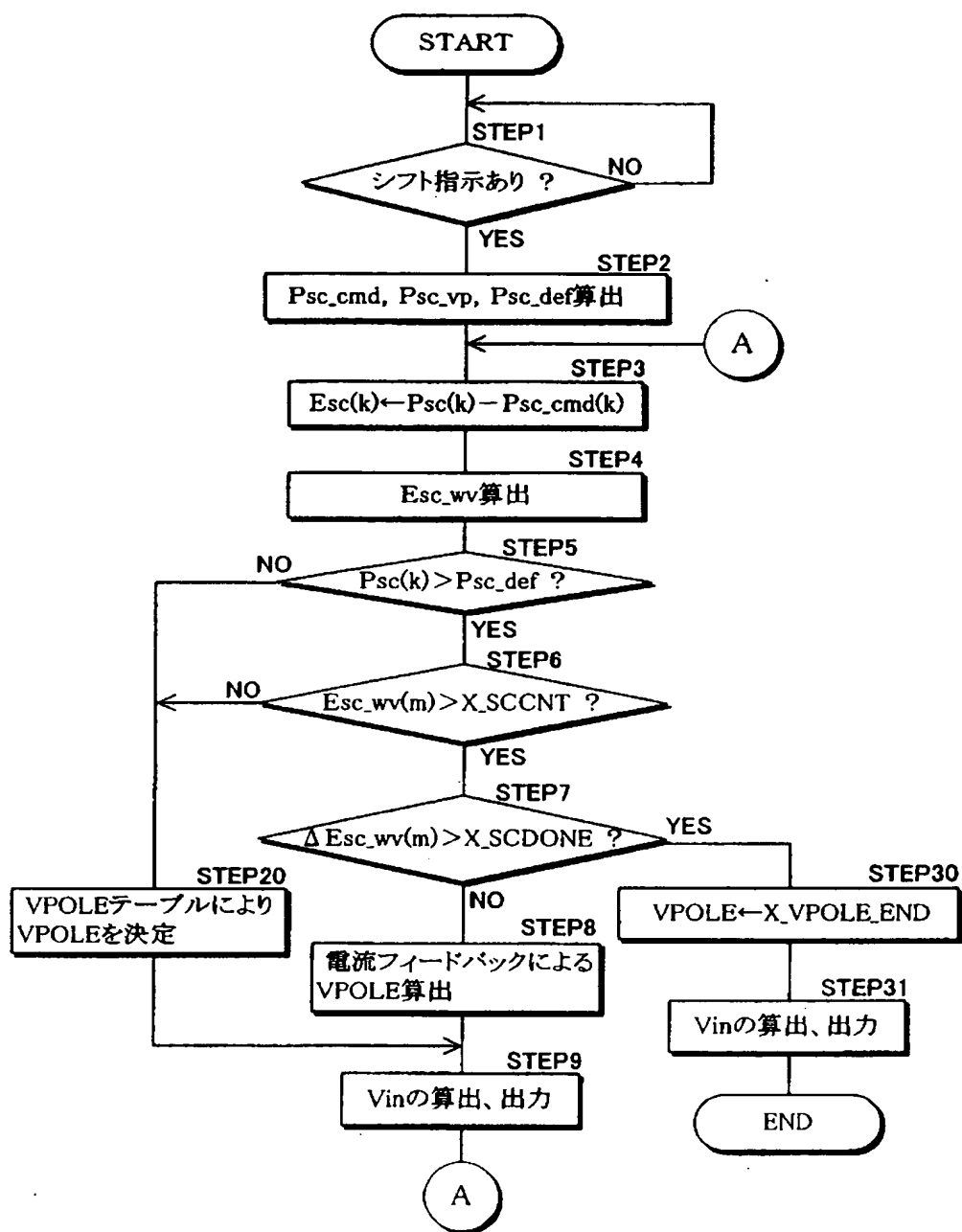
k	v		k'	v'
0	-0.1801	→ 2 ↓ →	0	-0.1801
1	-0.1812		1	-0.1779
2	-0.1779		2	-0.1796
3	-0.1774		3	-0.1780
4	-0.1796			
5	-0.1796			
6	-0.1780			
7	-0.1781			

FIG. 10 (b)



【図11】

FIG. 11



【図 12】

FIG. 12 (a)

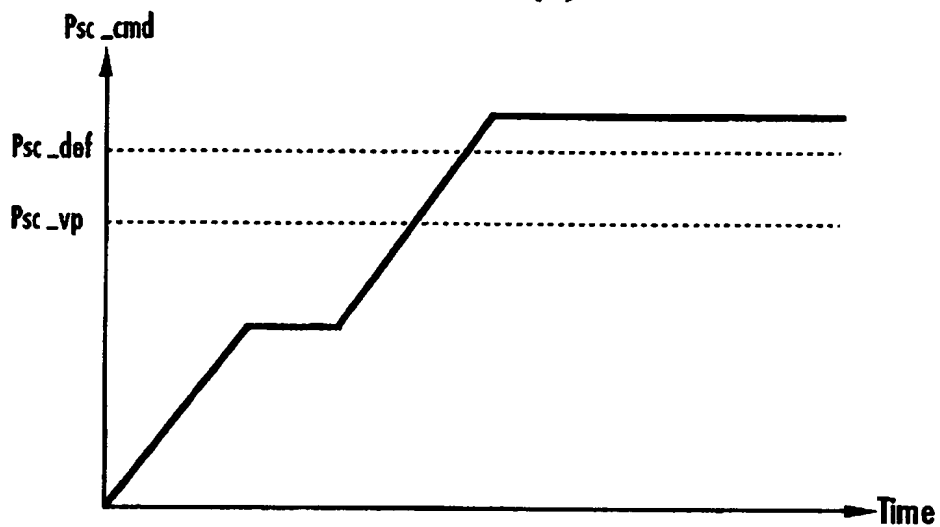
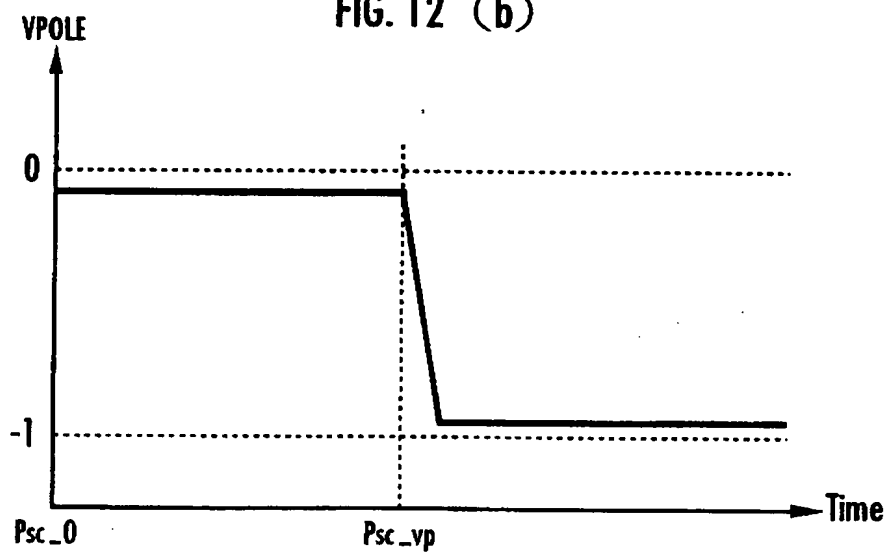
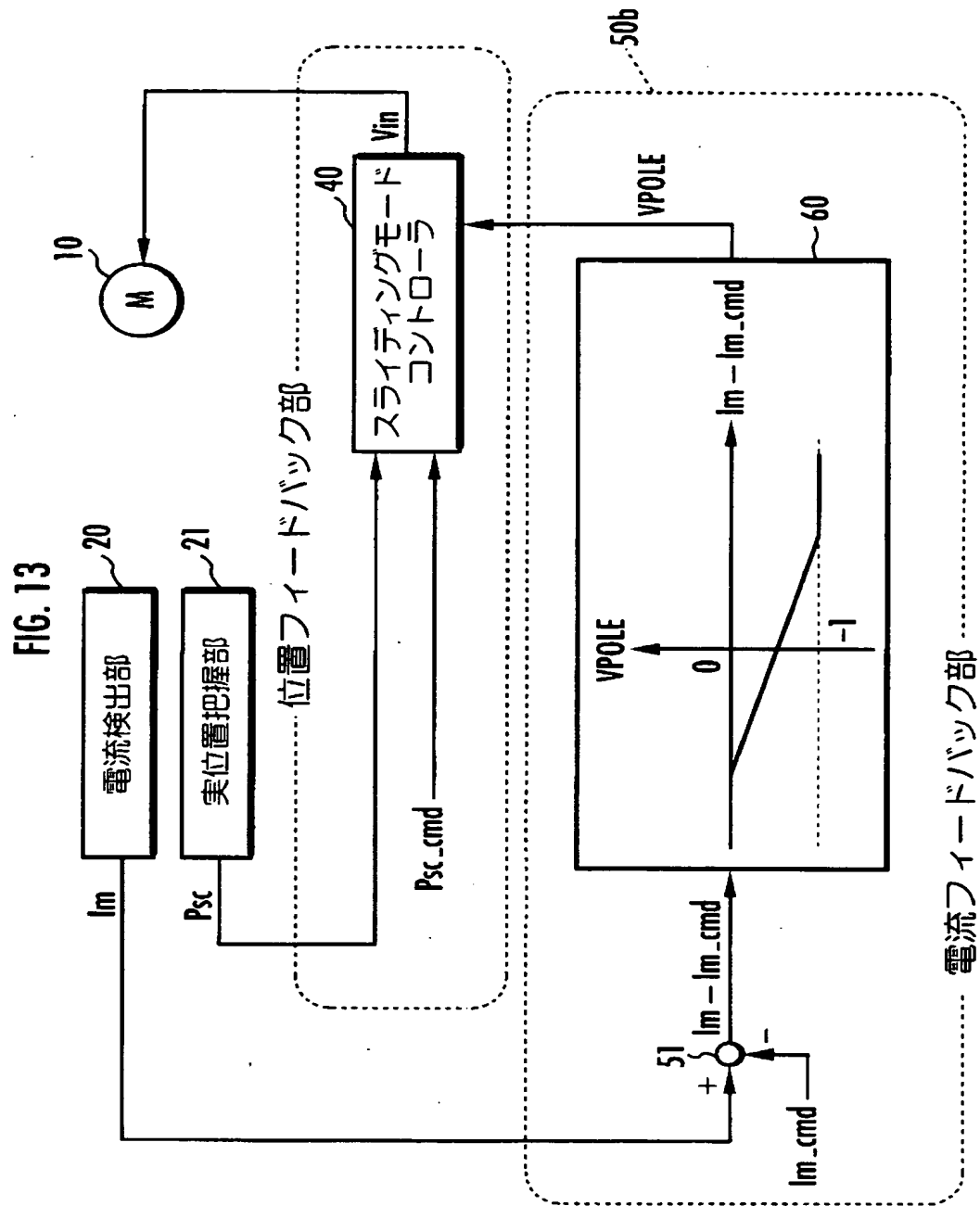


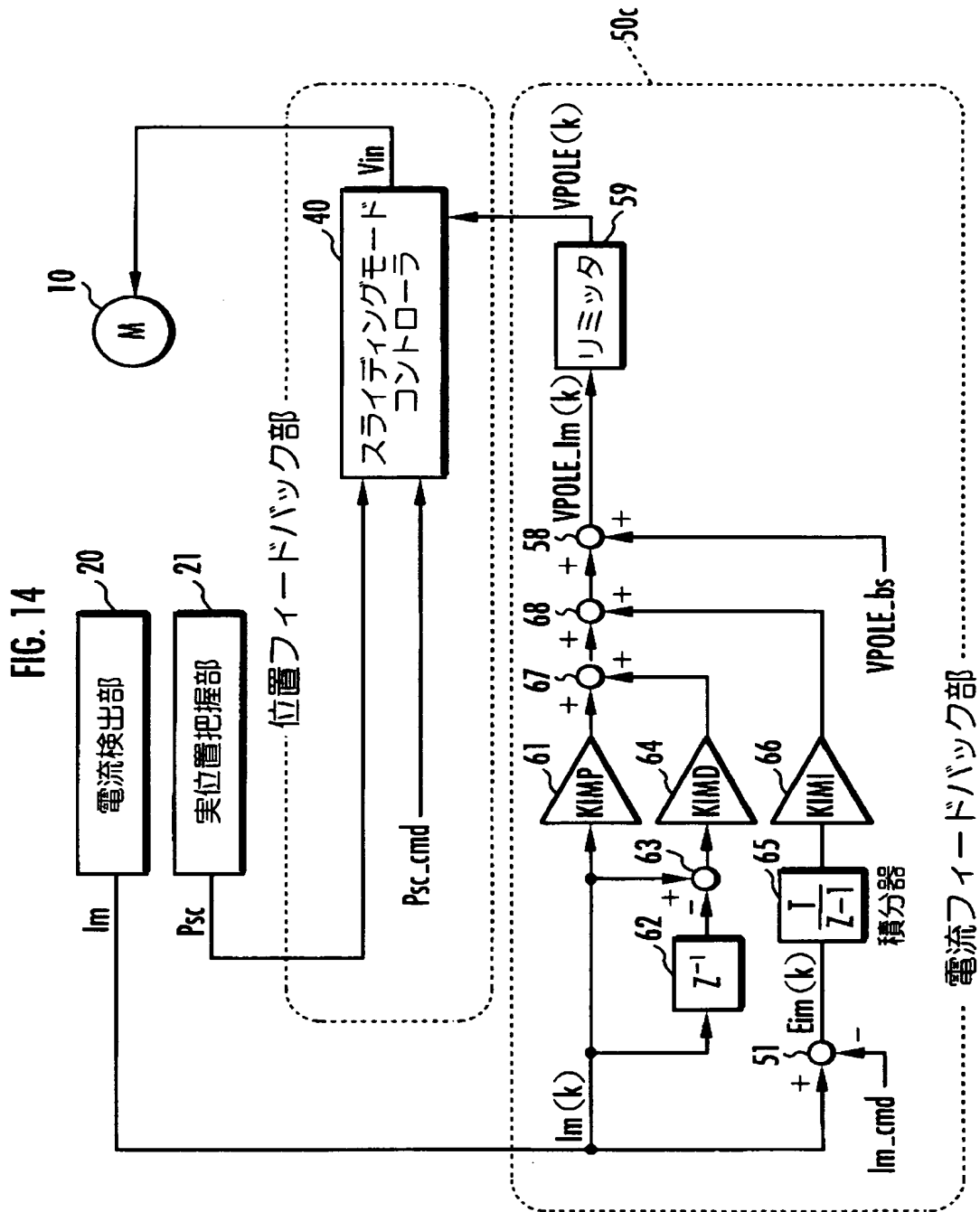
FIG. 12 (b)



【図13】

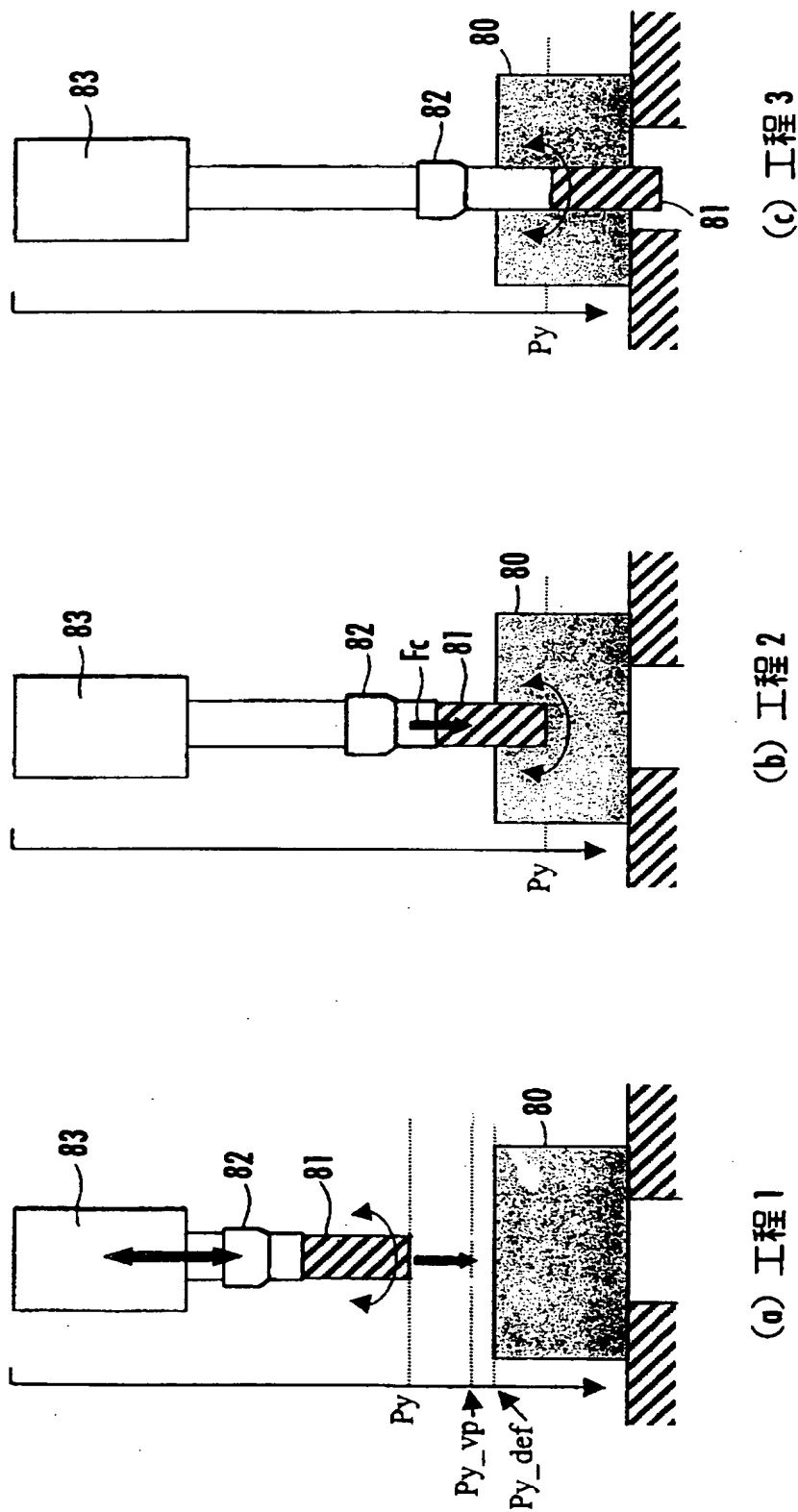


【図 14】



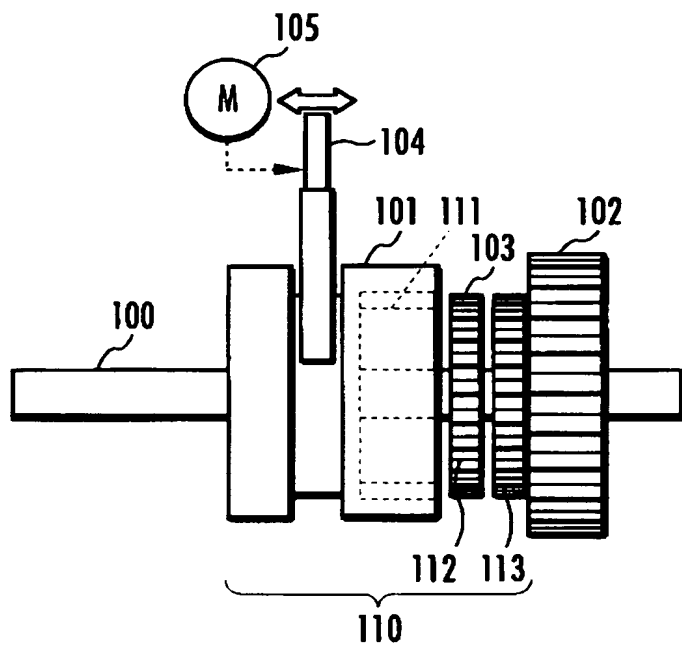
【図 15】

FIG. 15



【図 16】

FIG. 16



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 アクチュエータの作動に応じて変化する状態値を所定の目標値に安定して一致させることができるアクチュエータの制御装置を提供する。

【解決手段】 同期機構を慣性系物体と弾性系物体の衝突としてモデル化し、カップリングスリーブの実位置 (P_{sc}) と目標位置 (P_{sc_cmd}) との偏差を状態量とし、該状態量を変数とするスライディングモード制御用の切換関数の演算係数 ($VPOLE$) を、カップリングスリーブがシンクロナイザリングに接触するまでの第1の工程ではカップリングスリーブの実位置 (P_{sc}) に応じて設定し、カップリングスリーブが被同期ギヤに係合するまでの工程ではカップリングスリーブの押付け力が目標押付け力と一致するように設定する。

【選択図】 図8



認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-089777
受付番号	50300512069
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成 15 年 4 月 2 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000005326
【住所又は居所】	東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号
【氏名又は名称】	本田技研工業株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100077805
【住所又は居所】	東京都渋谷区代々木二丁目 1 番 1 号 新宿マイ ンズタワー 16 階 創成国際特許事務所
【氏名又は名称】	佐藤 辰彦

【選任した代理人】

【識別番号】	100077665
【住所又は居所】	東京都渋谷区代々木 2 丁目 1 番 1 号 新宿マイ ンズタワー 16 階 桐朋国際特許法律事務所
【氏名又は名称】	千葉 剛宏

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 8 9 7 7 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 3 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号

氏 名

本田技研工業株式会社